



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

Estudio Nutrimental de Arándano Azul (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán.

DAVID HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

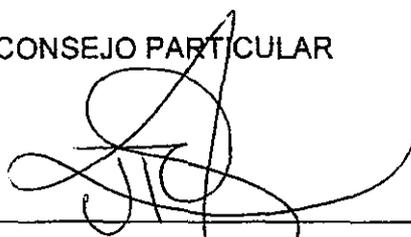
La presente tesis titulada: **Estudio Nutricional de Arándano Azul (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán** realizada por el alumno: **David Hernández Hernández** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

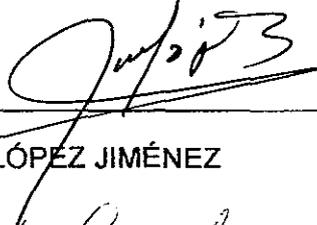
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR



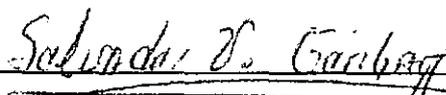
DR. ALFREDO LÓPEZ JIMÉNEZ

ASESOR



DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

ASESOR



DR. SALVADOR V. GARIBAY KURI

ASESOR



DR. JOSÉ LÓPEZ MEDINA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios quién supo darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento económico otorgado para la realización de mis estudios doctorales.

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillo, especialmente al programa de Edafología, por brindarme la oportunidad para realizar mis estudios.

A mi consejo particular, que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor gracias por estar siempre a mi lado, Rossy.

A mis padres y hermana, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que agradezco su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en todo momento, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	7
III. CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL EN HOJAS DE ARÁNDANO (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) DE BAJO REQUERIMIENTO DE FRÍO.....	9
RESUMEN.....	10
SUMMARY.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	25
IV. POTASIO EN EXTRACTO CELULAR DE PECIOLO, HOJA Y SOLUCIÓN DEL SUELO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS DE ARANDANO...	30
RESUMEN.....	31
SUMMARY.....	32
INTRODUCCIÓN.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40

CONCLUSIONES.....	49
BIBLIOGRAFIA.....	49
V. CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL Y CALIDAD POSTCOSECHA EN FRUTOS DE ARANDANO AZUL CV. BILOXI EN LOS REYES MICHOACÁN, MÉXICO	55
RESUMEN.....	56
SUMMARY.....	57
INTRODUCCIÓN.....	58
MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
CONCLUSIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
VI. DISCUSIÓN GENERAL.....	84
VII. CONCLUSIONES GENERALES.....	89
VIII. LITERATURA CITADA.....	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Dosis de fertilizante aplicado en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano.....	17
Cuadro 4.1. Dosis de fertilizante aplicado en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano.....	38
Cuadro 5.1. Dosis de fertilizante aplicado en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano.....	63
Cuadro 5.2. Concentración de macro y micronutrientes en fruto de arándano azul cv. Biloxi.....	65
Cuadro 5.3. Parámetros físicos de calidad en fruto de arándano cv. Biloxi.....	70
Cuadro 5.4. Parámetros químicos de calidad en fruto de arándano cv. Biloxi.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Pedigree del arándano tipo arbusto alto del sur (highbush southern), cv. Biloxi	16
Figura 3.2. Concentración de macronutrientes en hojas de arándano cv. Biloxi por etapas fenológicas, en Los Reyes, Michoacán, México	20
Figura 3.3. Concentración de micronutrientes y sodio en hojas de arándano cv. Biloxi por etapas fenológicas, en Los Reyes, Michoacán, México	23
Figura 4.1. Sección transversal de peciolo de arándano azul cv. Biloxi	40
Figura 4.2. Concentración de potasio en ECP en diferentes etapas fenológicas de arándano cv. Biloxi.....	41
Figura 4.3. Concentración de potasio en hoja en diferentes etapas fenológicas de arándano.....	44
Figura 4.4. Regresión entre la concentración de K en extracto celular de peciolo y K en hoja en el cultivo de arándano	45
Figura 4.5. Concentración de potasio en la solución del suelo en el cultivo de arándano	47
Figura 4.6. Regresión entre la concentración de K en extracto celular de peciolo y K en solución del suelo.....	48

RESUMEN

El presente estudio consistió en analizar la concentración de macro y micronutrientes en hojas, además de evaluar la concentración de potasio en extracto celular del pecíolo (ECP) y su relación con el contenido en hoja y solución de suelo (SS), también determinar la concentración nutrimental y calidad postcosecha en frutos de arándano azul en diferentes etapas fenológicas, en condiciones de clima subtropical de Los Reyes, Michoacán, México. Se muestrearon plantas maduras asintomáticas de arándano cv. Biloxi de 6 años de edad, completamente al azar, en un huerto comercial. Los rangos nutrimentales promedio encontrados en hoja de arándano, para N, P, K, Ca, Mg y S fueron 15.01, 1.9, 5.9, 4.64, 2.67, 2.05 mg g⁻¹, respectivamente y 398.0, 32.3, 161.1, 45.9, 112.6 mg kg⁻¹ y 1.82 mg g⁻¹ de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na, respectivamente. La concentración de K en hoja fue estadísticamente mayor en la etapa de amarre de fruto (13.99 mg g⁻¹). En el ECP hubo un incremento gradual de K desde la etapa de desarrollo hasta fructificación (810 – 1800 mg L⁻¹). La correlación de K en hoja y el ECP mostró una r²= 0.88792 y fue altamente significativa; mientras que, los niveles de K en SS oscilaron entre 15 y 17 mg L⁻¹ en todo el ciclo. Los frutos presentaron el siguiente gradiente de concentración nutrimental N>Ca>K>P>Mg>Mn>Fe>B>Cu. Los parámetros de calidad postcosecha fueron: diámetro ecuatorial 10.58 mm y polar 15.27 mm, firmeza 2.60 Newton, sólidos solubles totales 14.01%, pH 3.44, acidez titulable 1.50 % y contenido de vitamina C 20.19 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo.

ABSTRACT

This study consisted in analyzing the concentration of macro and micronutrients present in leaves as well as evaluating the concentration of potassium in the cellular extract of the petiole (ECP) and its relation with the content in the leaves and ground solution (SS), also determining the nutritional concentration and the quality after harvest of blueberries in different phenolic stages in the subtropical climate conditions of Los Reyes, Michoacán, México. Random samples were taken of ripe asymptomatic 6 year old blueberry plants of the type cv. Biloxi in a commercial orchard. The average nutritional ranges of N, P, K, Ca, Mg and S found in the blueberry leaves were 15.01, 1.9, 5.9, 4.64, 2.67, 2.05 mg g⁻¹ respectively and 398.0, 32.3, 161.1, 45.9, 112.6 mg kg⁻¹ and 1.82 mg g⁻¹ of Fe, Cu, Mn, Zn, B and Na respectively. The greatest K concentration in the leaves was statistically the greatest in the fruit set point (13.99 mg g⁻¹). The ECP showed a gradual increase of K from the developing stage up to the fructification point (810-1800 mg L⁻¹). The K correlation in the leaf and the ECP showed an r² of 0.88792 and was highly significant while the K levels in SS ranged between 15 and 17 mg L⁻¹ during the whole cycle. The fruits presented the following range in nutritional concentration: N>Ca>K>P>Mg>Mn>Fe>B>Cu. The quality parameters after harvest were: equatorial diameter 10.58 mm, polar diameter 15.27 mm, firmness 2.60 Newton, total soluble solids 14.01%, pH 3.44, titratable acidity 1.50%, and vitamin C content 20.19 mg of ascorbic acid for every 100 ml of juice.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México se tiene una gran diversidad de microclimas, ocasionados por las diferentes condiciones de relieve y precipitación, muchos de ellos son ideales para la producción de frutales; tal es el caso de las frutillas (berries) o moras, cuya producción ha cobrado gran importancia en los últimos años. El arándano es una de las especies más representativas de éste grupo; en la actualidad existen 1, 153 has. sembradas con esta especie. Los principales estados productores son Jalisco, Colima y Michoacán con una superficie de 853 has. que equivale al 74 % de la superficie total con un rendimiento promedio de 8 ton ha⁻¹ (SIAP, 2012).

La selección de la zona geográfica es una de las características primordiales para el establecimiento del cultivo de arándano y se deben cuidar las condiciones edafoclimáticas como el tipo de suelo, la luminosidad, la temperatura y otros factores como la disponibilidad, calidad del agua y las prácticas de manejo, especialmente la nutrición necesaria en la producción y calidad del cultivo (Gwathmey *et al.*, 2009). Para alcanzar y mantener una nutrición balanceada se pueden utilizar varios métodos de diagnóstico que pueden ser directos o indirectos; entre los métodos directos el más usado es el diagnóstico químico, el cual dispone de varias herramientas como el análisis foliar o de tejidos que permite evaluar la concentración y contenido de nutrientes durante el ciclo del cultivo de manera más precisa (Moreno *et al.*, 2003). El conocimiento de la composición mineral del follaje es de vital importancia en el crecimiento de plantas, ya que cada nutriente presenta una estacionalidad diferente en las mismas, por lo que representa un indicador del grado de absorción, utilización, redistribución interna y de

extracción de nutrimentos de ahí que la determinación de la concentración en diferentes órganos de la planta, sirva como referencia para la programación de la fertilización.

Los arándanos denominados highbush, que se cultivan en Estados Unidos y Canadá, son plantas adaptadas para crecer en condiciones de suelos ácidos (pH 4.3 – 4.8), donde se tiene una alta disponibilidad de algunos nutrientes como el hierro y manganeso cuyos requerimientos porcentuales en la planta de arándano son superiores a otras especies frutales (Hirzel y Rodríguez, 2003); además de desarrollarse en suelos arenosos pobres en nutrientes y ricos en materia orgánica; por lo que son generalmente considerados sensibles a la fertilización excesiva (Smolarz y Mercik, 1989; Hanson y Hancock, 1996; Hanson, 2006; Ochmian *et al.*, 2008). Los bajos requerimientos de fertilización de arándanos cultivados son relativamente más pequeños que para otros cultivos de bayas, las investigaciones indican que la aplicación de fertilizantes equilibrados y precisos puede mejorar el estado nutricional, crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad (Percival *et al.*, 2003). Pormale *et al.* (2013) encontraron niveles insuficientes de N, P, Ca, Mo, B y altos de Mn en hojas de arándano tipo highbush en condiciones de Letonia y a pesar de la heterogeneidad de las concentraciones de elementos en los suelos, la deficiencia de N, Zn, Mo y B se encontró en la gran mayoría de las muestras analizadas, a pesar de ser suelos de bosque que se caracterizan por ser ácidos y pobres en nutrientes, los arándanos silvestres acumularon altos niveles de K, Ca, Mg, Fe y Mn en las hojas.

Cada uno de los nutrientes tiene funciones específicas en el metabolismo de las plantas; sin embargo el potasio es uno de los elementos esenciales por la función que desempeña en procesos de osmoregulación y regulación estomatal, activación de enzimas, síntesis de proteínas, fotosíntesis, carga de floema, transporte y absorción y neutralización de aniones, en procesos biológicos y químicos que pueden modificar la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades (Pettigrew, 2008; Sepat *et al.*, 2010; Ma y Shi, 2011; Darunsontaya *et al.*, 2012); así mismo, influye con la calidad y rendimiento de fruto (Ramírez *et al.*, 2011); no solo el potasio se encuentra directamente relacionado con el rendimiento, tamaño y firmeza de fruta, ya que junto con el calcio proporciona firmeza, sanidad y mayor vida postcosecha; el nitrógeno con el crecimiento, productividad, vigor de la planta y actividad enzimática. Es importante mencionar, que la postcosecha engloba aspectos estéticos como textura (firmeza, jugosidad y turgencia) y apariencia (color, frescura y ausencia de pudrición o desórdenes fisiológicos). El arándano al alcanzar el estado de máxima calidad, presenta la sobremadurez rápidamente, asociada con la presencia de un excesivo ablandamiento, pérdida de sabor y de color; factores que son asociados con la tasa respiratoria (Moggia, 1991; Salunkhe *et al.*, 199; Darnell *et al.*, 1992; Kader, 1999). Durante el proceso de maduración de las frutas, el cambio cuantitativo más importante es la conversión del almidón en azúcares, ya que a lo largo de este proceso se altera el sabor y la textura de la fruta (Wills *et al.*, 1985).

Cabe señalar que, el arándano azul es considerado uno de los productos alimenticios más saludables en la actualidad debido al valor nutritivo, contenido de fibra, elevado aporte de potasio, contenido de vitamina A y C, bajo nivel calórico, actividad antioxidante de la fruta (Prior *et al.*, 1998; Ehlenfeldt y Prior, 2001; Sellapan *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2003) y compuestos nutraceuticos benéficos para la salud humana; por este motivo, se ha convertido en uno de los productos frutícolas con mayor demanda en la actualidad. Sin embargo, se ignoran los valores nutricionales y organolépticos, siendo estos los que determinan e influyen para la selección del producto por parte del consumidor (Pelayo *et al.*, 2001). Debido a lo anterior, la nutrición adecuada en los sistemas de producción no solo debe enfocarse al crecimiento y productividad, sino también a tomar en cuenta los aspectos relacionados con la calidad de la fruta.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo General

Estudiar el estado nutrimental de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi en los Reyes Michoacán, México.

2.1.1 Objetivos Particulares

1. Determinar la concentración de macro (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na) en hojas de arándano de bajo requerimiento de frío en diferentes etapas fenológicas.
2. Evaluar la concentración de potasio en el extracto celular de peciolo y su relación con la hoja y solución del suelo, en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano cv. Biloxi en condiciones de clima subtropical.
3. Conocer la concentración nutrimental (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn B y Na) y calidad postcosecha (color, peso, tamaño, firmeza, sólidos solubles, pH, acidez titulable y contenido de vitamina C) en frutos de arándano azul cv. Biloxi.

2.2 Hipótesis General

La condición nutrimental del arándano azul (*Vaccinium corymbosum L.*) cv. Biloxi en condiciones de clima subtropical es diferente al clima frío.

2.2.1 Hipótesis Particulares

1. La concentración de macro (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na) en hoja está determinada por la etapa fenológica del arándano.
2. La concentración de potasio en extracto celular de peciolo correlaciona directamente con la concentración de potasio en hoja y es inversamente proporcional al potasio en la solución del suelo.
3. La calidad (color, peso tamaño, firmeza, sólidos solubles, pH, acidez titulable y contenido de vitamina C) en frutos de arándano azul cv. Biloxi está predeterminada genéticamente.

III. CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL EN HOJAS DE ARANDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) DE BAJO REQUERIMIENTO DE FRIO

NUTRITIONAL CONCENTRATION IN LOW COLD REQUIREMENT (*Vaccinium corymbosum* L.) BLUEBERRY LEAVES

David Hernández Hernández¹, Prometeo Sánchez García^{1*}, Alfredo López Jiménez², Crescenciano Saucedo Veloz², Salvador V. Garibay Kuri³, José López Medina⁴.

¹Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados-Campus Motecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Fax 01 (595) 95 202 00.

²Postgrado en Fruticultura, Colegio de Postgraduados-Campus Motecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Tel y Fax 01 (595) 95 202 00.

³ Departamento de Cooperación Internacional, Instituto de Investigaciones para la Agricultura Orgánica (FiBL). Ackerstrasse 113, Postfach 219 CH-5070 Frick, Suiza. Teléfono +41 62 865 72 72, Fax +41 62 865 72 73. ⁴ Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México. Teléfono (+52) (443) 322 3500.

*Autor para correspondencia (promet@colpos.mx)

RESUMEN

Se ha escrito bastante sobre la concentración nutrimental óptima en hoja de arándano azul tipo arbusto alto del sur (highbush southern), arbusto bajo (lowbush) y ojo de conejo (rabbiteye), sin embargo, para arándano azul de bajo requerimiento de frío, las referencias son escasas. El presente estudio consistió en analizar la concentración de macro y micronutrientes en hojas de arándano cv. Biloxi en diferentes etapas fenológicas, en las condiciones edafo-climáticas de Los Reyes, Michoacán, México. Se muestrearon hojas maduras asintomáticas de plantas de arándano de 6 años de edad, completamente al azar, en un huerto comercial. La concentración de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na, se determinó en diferentes fechas de muestreo con un espectrómetro de emisión atómica (AES-ICP) marca Varian®. Los rangos nutrimentales promedio encontrados en hoja de cv. Biloxi, para N, P, K, Ca, Mg y S fueron 15.01, 1.9, 5.9, 4.64, 2.67, 2.05 mg g⁻¹, respectivamente y 398.0, 32.3, 161.1, 45.9, 112.6 mg kg⁻¹ y 1.82 mg g⁻¹ de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na, respectivamente; presentaron un comportamiento diferente dependiendo de la etapa fenológica (desde vegetativa hasta fructificación) y se observaron diferencias significativas en P, K y S en la fase de floración y amarre de fruto, mientras que en los micronutrientes no se presentaron; Los rangos nutrimentales encontrados en hoja para el cv. Biloxi, coinciden con los niveles reportados para otras variedades y tipos de arándano en otros países.

Palabras clave: dinámica nutrimental, cv. Biloxi, etapas fenológicas, nutrientes.

SUMMARY

Even though a lot has been written about the optimum nutritional concentration in the leaves of highbush southern, lowbush and rabbiteye blueberries, there is not many references for low cold requirement blueberries. This study consisted in analyzing the concentration of macro and micronutrients in the cv. Biloxi blueberry leaves in different phenolic stages in the climatic conditions of Los Reyes, Michoacán, México. Random samples of ripe asymptomatic leaves of 6 year old blueberries were taken in a commercial orchard. The N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B and Na concentration was determined during different sample dates with a Varian® atomic emission spectrometer (AES-ICP). The average nutritional ranges found in the cv. Biloxi leaves for N, P, K, Ca, Mg and S were 15.02, 1.9, 5.9, 4.64, 2.67, 2.05 mg g⁻¹ respectively and 390.0, 32.3, 161-1, 45.9, 112.6 mg kg⁻¹ and 1.82 mg g⁻¹ of Fe, Cu, Mn, Zn, B and Na respectively. These presented a different behavior depending on the different phenolic stage (from vegetative to fructification) of the plant and significant differences were observed in P, K and S during the flowering and fruit set stage but there were no differences observed in the micronutrients. The nutritional ranges found on the leaves of cv. Biloxi match the reported levels for other blueberry types and variations existing in other countries.

Index words: nutritional dynamics, cv. Biloxi, phenolic stages, nutrients.

INTRODUCCIÓN

El arándano azul es considerado uno de los productos alimenticios más saludables en la actualidad debido al valor nutritivo y actividad antioxidante de la fruta (Ehlenfeldt y Prior, 2001). La superficie con arándano azul en México en el ciclo 2012-2013 fue equivalente a 1,243 has contra 34,488 has en Estados Unidos, principal país productor y consumidor de esta especie.

El conocimiento de la composición mineral del follaje es un apoyo importante en la determinación de la causa de las diferencias en el crecimiento de plantas. Los factores externos son importantes en la producción de altos rendimientos de arándanos incluyendo el tipo de suelo, la luminosidad, la temperatura, la disponibilidad y calidad del agua, así como las prácticas de manejo. Aitazaz *et al.* (2012) mencionan que el método de riego incidió en la concentración de N, Ca y Mg en las hojas y la interacción, método de riego y fertilización afectó la concentración foliar de P, pero no a los micronutrientes.

Los arándanos denominados highbush, que son los que se cultivan en Estados Unidos y Canadá, han evolucionado en un pH bajo (4.3 – 4.8) y en suelos que eran pobres en nutrientes y ricos en materia orgánica, se adaptaron a estas condiciones específicas de suelo y son generalmente considerados como muy sensible a la fertilización excesiva (Smolarz y Mercik, 1989; Hanson y Hancock, 1996; Hanson, 2006;

Ochmian *et al.*, 2008). Aunque los requerimientos de fertilización de arándanos cultivados son relativamente más pequeños que para otros cultivos de bayas (conductividad eléctrica menor a 1.0 dS m^{-1}), las investigaciones indican que la aplicación de fertilizantes equilibrados y precisos puede mejorar el estado nutricional, crecimiento, desarrollo y rendimiento de los arándanos (Percival *et al.*, 2003).

Pormale *et al.* (2013) encontraron niveles insuficientes de N, P, Ca, Mo, B y altos de Mn en hojas de arándano tipo highbush en condiciones de Letonia, a pesar de la heterogeneidad de las concentraciones de elementos en los suelos, la deficiencia de N, Zn, Mo y B se encontró en la gran mayoría de las muestras analizadas. Aunque los suelos de bosque se caracterizan por ser ácidos y pobres en nutrientes, los arándanos silvestres acumularon altos niveles de K, Ca, Mg, Fe y Mn en las hojas.

Sanderson *et al.* (1995) mencionan que la adición de 4 ton ha^{-1} de yeso en un suelo de Canadá incrementó el rendimiento y la concentración de P, K y Mn, y paralelamente disminuyó el pH del suelo y la concentración de Mg en hojas. Lafond (2013) estableció concentraciones nutrimentales máximas y mínimas para arándano azul tipo lowbush en condiciones edafo-climáticas de Quebec, Canadá; encontró niveles bajos de Al, Cu, Fe y Zn y altos para B y Mn, en comparación con los valores de referencia actuales. Las concentraciones mínimas y máximas foliares actualizadas fueron: 26.2-73.5, 32.2-52.9, 3.2-6.5, 27.8-61.4, 873-1394, y 11.0-17.3 mg kg^{-1} para Al, B, Cu, Fe, Mn y Zn, respectivamente.

Tamada (2004) determinó la composición química de las hojas en arándano tipo rabbiteye en hidroponía con diferentes fuentes nitrogenadas y su interacción con niveles de pH de la solución nutritiva. La mayor biomasa de parte aérea y raíces se observó al adicionar el nitrógeno como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y la interacción fuente x pH incrementó el crecimiento de plantas en los siguientes tratamientos: NH_4NO_3 x pH 3.5 – 4.0 y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ x pH 4.1 – 5.0. En otro experimento, el mismo autor observó que las fuentes amoniacales (NH_4Cl , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) favorecieron el crecimiento de plantas y la concentración nutrimental en hojas de arándano en comparación con las fuentes nítricas ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y KNO_3). Rivadeneira (2012) encontró que la concentración de Mg en cv. Misty presentó la mayor concentración de este elemento con 3.0 mg g^{-1} cv. Emerald tuvo 2.4 mg g^{-1} y cv. Jewel la menor concentración con 1.6 mg g^{-1} de Mg, además las hojas adultas presentaron mayor concentración de Mg en comparación con las jóvenes.

Mientras que la nutrición de arándanos tipo highbush en los Estados Unidos y Canadá (principales países productores de arándanos en el mundo) se ha estudiado con bastante detalle (Eck, 1988; Strik *et al.*, 1993; Hart *et al.*, 2006), las investigaciones sobre tecnologías de cultivo óptimas para los arándanos de bajo requerimiento de frío que se están introduciendo en México son nulas.

Strik (2005) menciona que a menudo la nutrición de arándano se lleva a cabo mediante recomendaciones generadas para otros países, sin embargo, la adición de

mejoradores de suelo como azufre y materiales orgánicos, modifican las condiciones naturales para este cultivo, por lo que la universalidad de la información está limitada. Se requiere intensificar la labor científica mediante la investigación para conocer las necesidades nutrimentales de arándanos en condiciones subtropicales de nuestro país.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue analizar la concentración de macro y micronutrientes en arándano de bajo requerimiento de frío cv. Biloxi en diferentes etapas fenológicas, en las condiciones edafo-climáticas de Los Reyes, Michoacán, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un huerto comercial ubicado en Los Reyes, Michoacán, México entre los paralelos 19°30' y 19°49' de latitud norte; los meridianos 102°15' y 102°36' de longitud oeste; a una altitud 1300 msnm, con un rango de temperaturas de 10 a 24°C y una precipitación anual entre 1000 a 1500 mm. El suelo donde se estableció el cultivo de arándano es de textura franco-arenosa, densidad aparente (Da) = 1.19 g cm⁻³, materia orgánica (MO) = 2.19%, pH = 4.13, y una conductividad eléctrica (CE) = 1.25 dS m⁻¹.

Las plantas de arándano que se emplearon para el experimento fueron el cv. Biloxi de 6 años de edad, con una densidad de plantación de 5,000 plantas ha⁻¹. Biloxi es un arándano tetraploide, denominado arbusto alto del sur (highbush southern) y fue

desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de EE.UU de la cruce entre Sharpeblue y US329 (Figura 1). Los tallos son rectos, vigorosos y productivos. La fruta madura temprano, con tamaño mediano, buen color, firmeza y sabor. Este cultivar de bajo requerimiento de frío fue lanzado en 1998 para la producción en las llanuras costeras del sudeste de los Estados Unidos y para facilitar su polinización requiere de otros arándanos del mismo tipo, como cv. Climax y Misty, entre otras. Los frutos del cv. Biloxi tienen un peso medio de 1.47 g, contenido de sólidos solubles 13.4%, pH 3.2, acidez titulable 0.97%, la relación contenido de sólidos solubles / acidez titulable es igual a 13.97 y la antocianina (ACY) presentó valores de 90 (Spiers *et al.*, 2002).

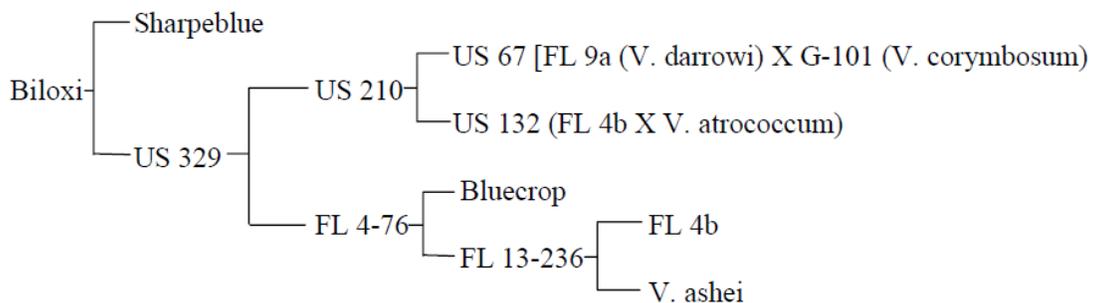


Figura 1. Pedigree del arándano tipo arbusto alto del sur (highbush southern), cv. Biloxi (Spiers *et al.*, 2002).

El agua de riego presentó las siguientes características físico-químicas: pH = 6.7; CE = 0.36 dS m⁻¹; bicarbonatos, cloruros y boro 122, 30.5 y 0.03 mg L⁻¹, respectivamente. En el Cuadro 1 se indica la cantidad de fertilizantes solubles aplicados mediante el riego por goteo durante el desarrollo del experimento.

El muestreo de hojas se realizó cada mes desde agosto a diciembre, en las etapas de desarrollo vegetativo hasta fructificación. Para el análisis de hoja se muestrearon hojas recientemente maduras, asintomáticas y libres de daños y lesiones (70 hojas por repetición) del tercio medio de las plantas. Las condiciones que imperaron durante el muestreo fueron temperaturas entre 20 y 30°C y la humedad de suelo estuvo a capacidad de campo (20.2% de humedad aprovechable).

Cuadro 1. Dosis de fertilizante aplicado en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano.

Mes	Etapa fenológica	Dosis aplicada		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		Kg ha ⁻¹		
Agosto	Vegetativa	0.701	0.427	0.408
Septiembre	Vegetativa	0.701	0.427	0.408
Octubre	Floración	0.701	0.427	0.408
Noviembre	Amarre de fruto	1.145	0.549	1.428
Diciembre	Fructificación	1.145	0.549	1.428

Las hojas de arándano se lavaron cuidadosamente con agua destilada, se retiró el exceso de agua con papel absorbente y posteriormente fueron etiquetadas y colocadas en bolsas de papel y se llevaron a una estufa con circulación de aire forzado a 70° C, hasta que estas alcanzaron un peso constante (aproximadamente 48 horas). Posteriormente, las muestras se molieron en un molino tipo Willey, provisto de un tamiz

malla 40; se hizo una digestión húmeda y se analizó la concentración nutrimental en un espectrómetro de emisión atómica (AES-ICP) marca Varian®, cada muestra se analizó por triplicado.

El diseño experimental fue completamente al azar con 5 tratamientos y cuatro repeticiones, con un total de 20 unidades experimentales. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 se muestran los resultados de la composición mineral de las hojas de arándano cv. Biloxi, colectadas en diferentes etapas fenológicas. Se observaron diferencias estadísticas significativas por etapa de muestreo solo para las variables P, K y S en la fase de amarre de fruto.

El comportamiento del nitrógeno durante el ciclo del cultivo fue irregular. La mayor concentración de este elemento se presentó en la etapa vegetativa previa a la floración (18.36 mg g^{-1}) y la menor, coincidió con la floración (11.41 mg g^{-1}). Este fenómeno es natural, debido a que después de la poda a ras se inicia la generación de estructura vegetativa y el nitrógeno juega un papel importante como constituyente de la molécula

de clorofila y esta a su vez, en el proceso de formación activa de fotosintatos y al iniciar la floración la relación carbono/nitrógeno aumenta, con lo cual los sensores de detección/señalización se activan para el cambio a la generación de estructuras reproductivas (Coruzzi y Zhou, 2001). Lafond (2009) encontró valores de N en arándano azul tipo arbusto bajo (lowbush) que oscilaron entre 13.1 y 23.5 mg g⁻¹, en comparación con Bouchard y Gagnon (1987) quienes reportaron niveles mínimos y máximos de 13.7 y 23.3 mg g⁻¹, respectivamente. El valor promedio de N obtenido en el estudio para cv. Biloxi fue 15.01 mg g⁻¹, en comparación con Lafond (2009) y Bouchard y Gagnon (1987), quienes reportaron una media de 18.08 y 16.8 mg g⁻¹, respectivamente. Rivadeneira (2012) encontró que la concentración promedio de N en hojas de arándano azul fue la siguiente: 15.5, 21.3 y 17.6 mg g⁻¹ para cv. Misty, Jewel y Emerald, respectivamente.

La Figura 2B señala que el fósforo tuvo una tendencia a la alza desde la etapa vegetativa hasta el amarre de fruto. El fósforo es traslocado de las hojas hacia los frutos para la síntesis de proteínas, la división celular y desarrollo de tejido nuevo (International Plant Nutrition Institute, 1999), por eso se observa un decremento en hojas desde la fase de amarre de fruto hasta fructificación. La concentración promedio de P para el cv. Biloxi fue 1.9 mg g⁻¹, en comparación con Misty, Jewel y Emerald que presentaron 1.2, 1.4 y 1.2 mg g⁻¹, respectivamente (Rivanedeira, 2012). Lafond (2009) encontró una concentración promedio de 1.33 mg g⁻¹ de P para *Vaccinium angustifolium* Ait. y Bouchard y Gagnon (1987), reportaron 1.1 mg g⁻¹ para la misma especie.

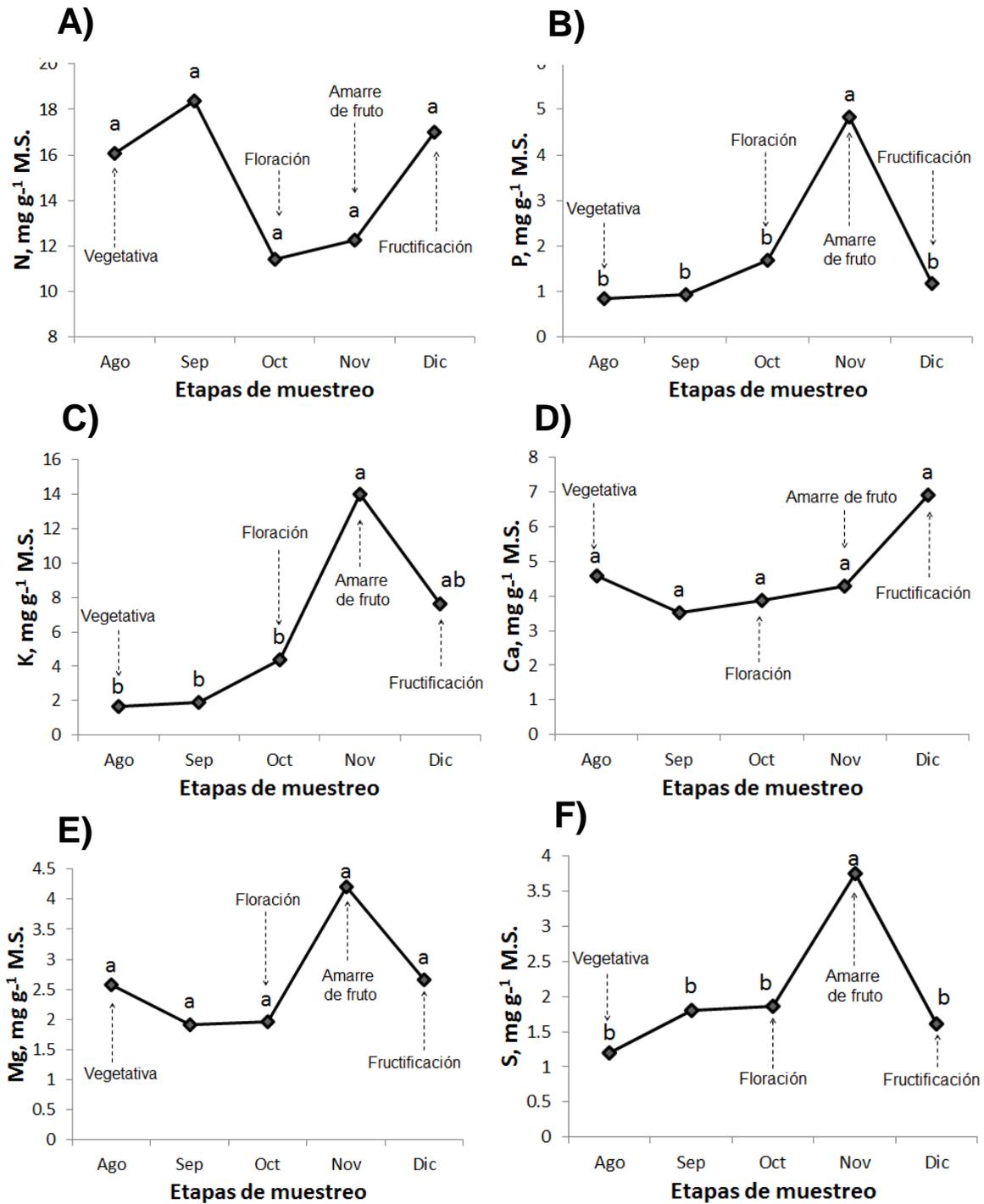


Figura 2. Concentración de macronutrientes en hojas de arándano cv. Biloxi por etapas fenológicas, en Los Reyes, Michoacán, México. *Valores en la gráfica con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey<0.05).*

La Figura 2C muestra que el potasio se incrementó desde la etapa vegetativa hasta el amarre de fruto y a partir del inicio de fructificación este elemento se removió desde las hojas hacia el fruto, ya que una función vital del K es el transporte de agua, carbohidratos y minerales (Britto y Kronzucker, 2008) a los órganos de demanda. Las concentraciones de K para el arándano cv. Biloxi, en promedio fue 5.9 mg g^{-1} , en comparación con Misty, Jewel y Emerald que reportaron 5.2, 3.7 y 4.8 mg g^{-1} de K, respectivamente (Rivanedeira, 2012); en la misma especie de tipo arbusto bajo se reportó 6.06 mg g^{-1} (Lafond, 2009) y 3.16 mg g^{-1} de K (Bouchard y Gagnon, 1987).

Los niveles de calcio en arándano se incrementaron desde la etapa vegetativa hasta la fructificación (Figura 2D), los niveles más bajos en hoja se encontraron en las etapas vegetativas y floración, ya que el calcio se aprovechó para la inducción floral (Friedman *et al.*, 1989). En el presente estudio se encontró un valor promedio de Ca para cv. Biloxi de 4.64 mg g^{-1} , en contraparte con “Misty”, “Jewel” y “Emerald” que mostraron valores 9.4, 5.8 y 9.2 mg g^{-1} , respectivamente (Rivanedeira, 2012) y para *Vaccinium angustifolium* Ait. 3.39 mg g^{-1} (Lafond, 2009) y 5.52 mg g^{-1} (Bouchard y Gagnon, 1987).

La Figura 2E muestra que el magnesio se incrementó desde la etapa vegetativa hasta la fase de amarre de frutos. La importancia del Mg en la planta reside en el papel que juega durante la fotosíntesis, este elemento es el átomo central de la molécula de clorofila y las fluctuaciones en sus niveles en el cloroplasto regulan la actividad de las enzimas fotosintéticas (Orit, 2002). En el presente estudio, la concentración promedio

de Mg en hojas para cv. Biloxi fue 2.67 mg g^{-1} . Rivanedeira (2012) reportó valores de Mg 3.0, 1.6 y 2.4 mg g^{-1} en cv. Misty, Jewel y Emerald, respectivamente. Mientras que Lafond (2009) y Bouchard y Gagnon (1987) indicaron niveles 1.52 y 1.55 mg g^{-1} , para arándano azul de tipo arbusto bajo.

El azufre mostró un comportamiento similar al P, K y Mg con una tendencia a la alza desde la etapa vegetativa hasta la fase de amarre de fruto; la concentración promedio de S en hojas para cv. Biloxi fue 2.05 mg g^{-1} (Figura 2F). En la etapa de fructificación los niveles de azufre en hoja disminuyeron seguramente porque este elemento participó en la formación de compuestos antioxidantes como el glutatión (Hell, 1997).

En las Figuras 3A-3D se muestra la concentración de micronutrientes en las hojas de arándano cv. Biloxi, colectadas en diferentes etapas fenológicas (etapa vegetativa hasta fructificación). No se observaron diferencias estadísticas significativas por fecha de muestreo para los elementos analizados.

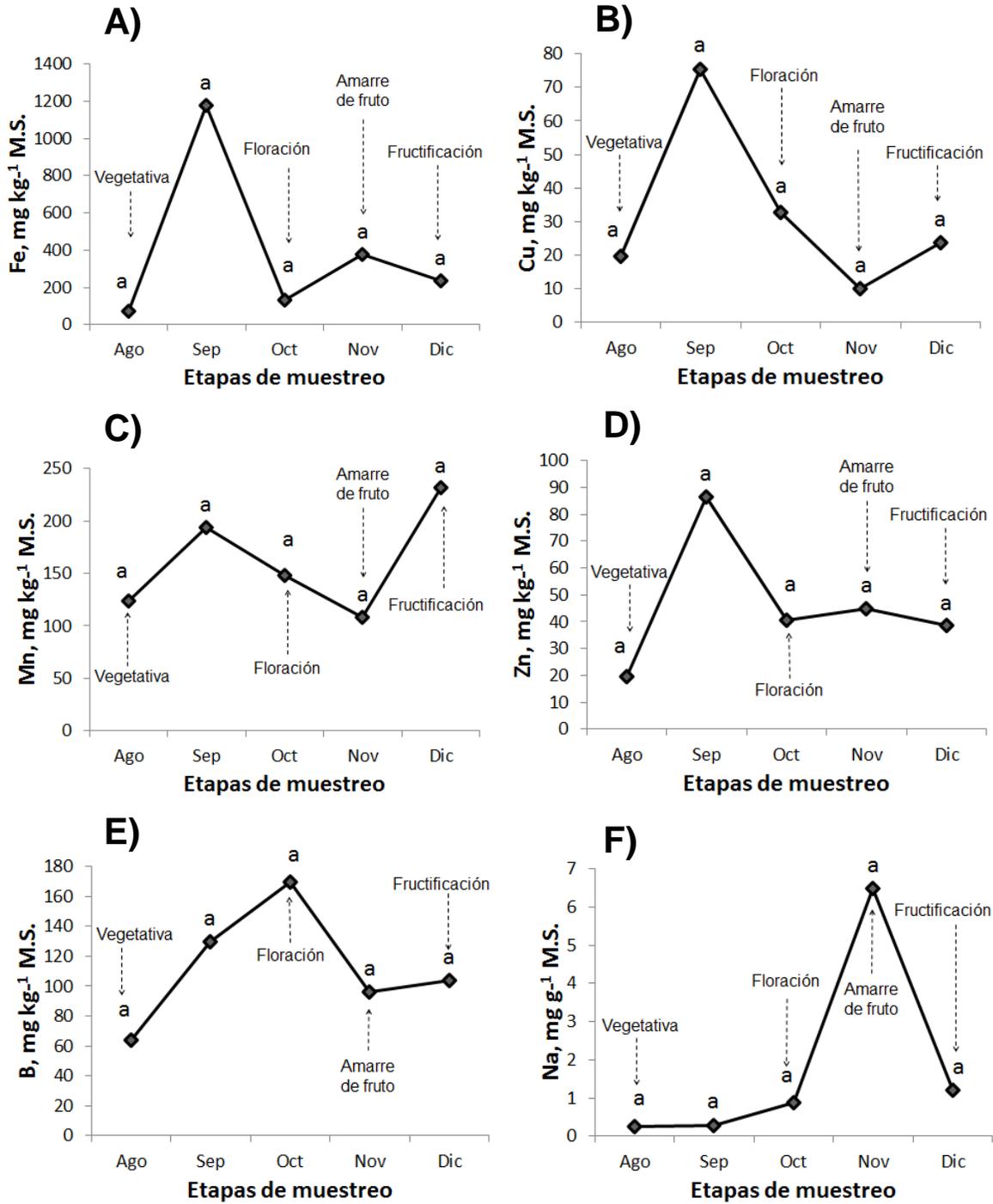


Figura 3. Concentración de micronutrientes y sodio en hojas de arándano cv. Biloxi por etapas fenológicas, en Los Reyes, Michoacán, México. Valores en la gráfica con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey<0.05).

La concentración de micronutrientes como: Fe, Cu, Mn y Zn en hojas de arándano cv. Biloxi disminuyeron desde la etapa vegetativa hasta fructificación; los valores promedio fueron: 398.0, 32.3, 161.1, 45.9 y 112.6 mg kg⁻¹ de Fe, Cu, Mn, Zn y B, respectivamente. Para el sodio, el valor promedio fue 1.82 mg g⁻¹.

Los micronutrientes están involucrados en todas las funciones metabólicas y celulares (Hänsch y Mendel, 2009). Por ejemplo, el Fe se utiliza en el sitio activo de glutamil-ARNt reductasa, una enzima necesaria para la formación de ácido 5-aminolevulínico que es un precursor de la clorofila (Kumar y Soll, 2000; Eskandari, 2011). El Cu participa en numerosos procesos fisiológicos y es un cofactor esencial para muchas metaloproteínas (Yruela, 2005). El Mn se necesita en la formación de cloroplastos, fotosíntesis, metabolismo del N y la síntesis de varias enzimas (Campbell y Nable, 1998). La deficiencia de Zn pueden afectar a la planta por el retraso en el crecimiento, clorosis y las hojas más pequeñas, lo que aumenta el período de madurez del cultivo, además de la baja viabilidad del polen y la mala calidad de los productos cosechados (Hafeez, 2014). El B se incrementó hasta floración y disminuyó en la fase de amarre de fruto y fructificación (Figura 3E), seguramente porque este elemento participa, al igual que el K, en el transporte de carbohidratos de hojas hacia los frutos. Otras funciones del B son la síntesis de la pared celular y lignificación, la estructura de la pared celular, el metabolismo del RNA, la respiración, metabolismo del ácido indolacético, el metabolismo del fenol y transporte de membrana (Blevins y Lukaszewski, 1994). Subbarao *et al.* (2003) mencionan que el Na puede considerarse

como un elemento funcional, es decir, que no cumple con los criterios de esencialidad, pero es importante en el metabolismo de las plantas, principalmente en plantas C₄. En la Figura 3F se observa que la concentración de sodio se incrementa en las hojas hasta la etapa de amarre de fruto y posteriormente éste se trasloca a los frutos en la fructificación.

CONCLUSIONES

Los rangos nutrimentales promedio encontrados en hoja para el cv. Biloxi, bajo condiciones de Los Reyes, Michoacán, México son semejantes a los reportados para otros cultivares y tipos de arándano en otros países. La concentración promedio de macronutrientes fue la siguiente: 15.01, 1.9, 5.9, 4.64, 2.67, 2.05 mg g⁻¹, de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente) y micronutrientes (398.0, 32.3, 161.1, 45.9, 112.6 mg kg⁻¹ y 1.82 mg g⁻¹ de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na, respectivamente).

BIBLIOGRAFÍA

Aitazaz A. Farooque, A Farhat, U Qamar, Z AliMadani, D C Percival, M Arshad (2012) Soil Nutrient Availability, Plant Nutrient Uptake, and Wild Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Yield in Response to N-Viro Biosolids and Irrigation Applications. Applied and Environmental Soil Science.

Better Crops With Plant Food (1999) A Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI). LXXXIII. 83 (1): 6 - 7.

Blevins D G, K Lukaszewski (1994) Proposed Physiologic Functions of Boron in Plants Pertinent to Animal and Human Metabolism Environmental Health Perspectives 102 (7): 31-33.

Bouchard A R, M J Gagnon (1987) Nutrient status of the lowbush blueberry. Commun. In Soil Sci. Plant Anal. 18(6): 675-686.

Britto D T, H J Kronzucker (2008) Cellular mechanisms of potassium transport in plants. Physiologia Plantarum. P 1-14.

Campbell L C, R O Nable (1998) Physiological Functions of Manganese in Plants. Developments in Plant and Soil Sciences. 33:139-154.

Coruzzi G M, L Zhou (2001) Carbon and nitrogen sensing and signaling in plants: emerging 'matrix effects'. Plant Biology. 4 (3): 247 – 253.

Eck P (1988) *Blueberry science*. Rutgers University Press, N.J., 284 p.

Ehlenfeldt M K, R L Prior (2001) Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, pp. 2222-2227.

Eskandari H (2011) The Importance of Iron (Fe) in Plant Products and Mechanism of Its Uptake by Plants. J. Appl. Environ. Biol. Sci. 1(10):448-452.

Friedman H, E E Goldschmidt, A H Halevy (1989) Involvement of Calcium in the Photoperiodic Flower Induction Process of *Pharbitis nil*. Plant Physiol. 89: 530-534.

Hafeez B, Y M Khanif, M Saleem (2014) Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. American Journal of Experimental Agriculture. 3 (2):374-391.

Hanson E, J Hancock (1996) Managing the nutrition of highbush blueberries. Michigan State University, Extension Bulletin E-2011, 46 p.

Hanson E J (2006) Nitrogen fertilization of highbush blueberry. Acta Horticulturae, 715: 347-351.

Hänsch R, R Mendel (2009) Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Biology. 12 (3): 259-266.

Hart J, B Strik, L White, W Yang (2006) Nutrient management for blueberries in Oregon. Oregon State University Extension service EM 8918, 14 p.

Hell R (1997) Molecular physiology of plant sulfur metabolism. Planta. 202 (2): 138-148.

Kumar A M, D Soil (2000) Antisense HEMA1 RNA expression inhibits heme and chlorophyll biosynthesis in arabidopsis. Plant Physiologists, 122: 49-56.

Lafond J (2013) Boundary-Line Approach to Determine Minimum and Maximum Leaf Micronutrient Concentrations in Wild Lowbush Blueberry in Quebec, Canada. International Journal of Fruit Science, 13 (3): 345-355.

Ochmian I J, Grajkowski, K Skupień (2008) Effect of three substrates on fruit and leaf chemical composition of highbush blueberry 'Sierra' cultivar. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Volume 4.

Orit S (2002) Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. Biometals. 15 (3): 307-321.

Percival C D, D E Janes, D E Stevens, K Sanderson (2003) Impact of multiple fertilizer applications on plant growth, development, and yield of wild lowbush blueberry (*Vaccinium augustifolium* Ait.). Acta Horticulturae, 626, pp. 415-421.

Pormale J, A Osvalde, V Nollendorfs (2013) Nutrient status in producing plantings and woodlands, Latvia. 80-87.

Rivanedeira M F (2012) Nutrient concentration in leaves of different developmental stages in blueberry. RIA. Vol. 38. No. 3.

Sanderson K R, M R Carterl, J A Ivany (1995) Effect of gypsum on yield and nutrient status of native lowbush blueberry. Canadian Journal of Plant Science. 361-366.

Smolarz K, S Mercik (1989) Growth and yield of highbush blueberry Bluecrop cv. (*Vaccinium Corymbosum* L.) in relation to the level of nitrogen fertilizer. Acta Horticulturae. 241, pp. 171-174.

Spiers J M, S J Stringer, A D Draper, C L Gupton. 2002 'Biloxi' Southern Highbush Blueberry. Acta Hort. 574: (153-155).

Strik B, C Brun, M Ahmedullah, A Antonelli, L Askham , D Barney, P Bristow, G Fisher, J Hart , D Havens, R Ingham , D Kaufman, R Penhallegon, J Pscheidt, B Scheer, C Shanks, R William (1993) Highbush blueberry production. Oregon State University Extension Service PNW 215, 80 p.

Strik B (2005) Blueberry – an expanding world berry crop. Chronica Horticulturae, 45, pp. 7-12.

Subbarao G V, O Ito, W L Berry, R M Wheeler (2003) Sodium - A Functional Plant Nutrient. Critical Reviews in Plant Sciences 22(5):391–416.

Tamada T (2004) Effects of Nitrogen Sources on Growth and Leaf Nutrient Concentrations of 'Tifblue' Rabbiteye Blueberry Under Water Culture. *Small Fruits Review*, 3 (1-2):149-158.

Yruela I (2005) Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17 (1): 145-156.

**IV. POTASIO EN EXTRACTO CELULAR DE PECIOLO, HOJA Y SOLUCIÓN DEL
SUELO EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS DE ARÁNDANO
POTASSIUM IN PETIOLE CELLULAR EXTRACT, LEAVES AND SOIL SOLUTION
OF BLUEBERRY DURING DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES**

**David Hernández Hernández¹, Prometeo Sánchez García^{1*}, Alfredo López
Jiménez², Crescenciano Saucedo Veloz², Salvador V. Garibay Kuri³, José López
Medina⁴.**

¹Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados-Campus Motecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Fax 01 (595) 95 202 00.

²Postgrado en Fruticultura, Colegio de Postgraduados-Campus Motecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Tel y Fax 01 (595) 95 202 00.

³ Departamento de Cooperación Internacional, Instituto de Investigaciones para la Agricultura Orgánica (FiBL). Ackerstrasse 113, Postfach 219 CH-5070 Frick, Suiza. Teléfono +41 62 865 72 72, Fax +41 62 865 72 73. ⁴ Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México. Teléfono (+52) (443) 322 3500.

*Autor para correspondencia (promet@colpos.mx)

RESUMEN

El objetivo del estudio consistió en evaluar la concentración de potasio en extracto celular del pecíolo (ECP) y su relación con el contenido en hoja y solución de suelo (SS), en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano en condiciones de clima subtropical. Se utilizaron plantas de arándano cv. Biloxi de 6 años de edad se aplicó fertilizantes en el agua de riego por goteo cada tercer día, en las etapas vegetativa y reproductiva, las dosis fueron: 0.701 N, 0.427 P₂O₅, 0.408 K₂O kg ha⁻¹ y 1.145 N, 0.549 P₂O₅, 0.428 K₂O kg ha⁻¹, respectivamente. Los muestreos de pecíolo, hoja y solución del suelo se hicieron desde la etapa de desarrollo vegetativo hasta fructificación. Para ECP se tomaron 100 pecíolos y se obtuvo el extracto con una prensa hidráulica en campo; las hojas colectadas fueron del tercio medio de las plantas, recientemente maduras, asintomáticas y libres de daños; para la SS se recolectaron 20 mililitros por muestra de los lisímetros marca Irrometer®. Las determinaciones de la concentración de K se realizaron con un espectrómetro de emisión atómica (AES-ICP) marca Varian®. Los resultados mostraron que la concentración de K en hoja fue estadísticamente mayor en la etapa de amarre de fruto (13.99 mg g⁻¹, p<0.05), posteriormente descendió en las etapas de amarre de fruto a fructificación (7.610 mg g⁻¹, p<0.05). En el ECP hubo un incremento gradual de K desde la etapa de desarrollo hasta amarre de fruto y fructificación (810 – 1800 mg L⁻¹). La correlación de K en hoja y el ECP mostró una r²= 0.88792 y fue altamente significativa (P=<0.0001); mientras que, los niveles de K en SS oscilaron entre 15 y 17 mg L⁻¹ en todo el ciclo.

Palabras Clave: *Vaccinium corymbosum* L., concentración de potasio, demanda nutrimental, diagnóstico foliar, extracción.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the potassium concentration in the petiole cellular extract (ECP) and its relation with the content in the leaves and soil solution (SS) during different phenological stages of the blueberry cultivation in subtropical climate conditions. Cv. Biloxi 6 year old blueberry plants were used applying fertilizers in the drip irrigation water every third day during the vegetative and reproductive stages. The fertilizer doses were: 0.701 N, 0.427 P₂O₅, 0.408 K₂O kg ha⁻¹ and 1.145 N, 0.549 P₂O₅, 0.428 K₂O kg ha⁻¹ respectively. Petiole, leaf and soil solution samples were taken from the vegetative development until the fructification stage. For the ECP, 100 petioles were taken and the extract was obtained with a hydraulic press in the field; the leaves collected were from the mid third part of recently ripe, asymptomatic and damage free plants; for the SS, 20 milliliters were collected for each sample of the Irrrometer ® lysimeters. The K concentration was determined with a Varian® atomic emission spectrometer (AES-ICP). The results showed that the K concentration in the leaves was statistically greatest during the fruit set stage (13.00 mg g⁻¹, p<0.05), later, it descended during the fruit set to fructification stages (7.610 mg g⁻¹, p<0.05). There was a gradual K increase in the ECP from the development up to the fruit set and fructification stages (810-1800 mg L⁻¹). The K correlation in the leaves and ECP showed a r² of 0.88792 and

was highly significant ($P < 0.0001$) while the K levels in SS ranged between 15 and 17 mg L⁻¹ during the whole cycle.

Index words: *Vaccinium corymbosum* L., potassium concentration, nutritional demand, foliar diagnosis, extraction.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de frutillas (berries) o moras ha cobrado gran importancia en los últimos años, el arándano es una de las especies más representativas de éste grupo. En la actualidad existen 1,153 hectáreas plantadas con este frutal. Los principales estados productores son Jalisco, Colima y Michoacán con una superficie de 853 has que equivale a 74 % de la superficie total, con un rendimiento promedio de 8 ton ha⁻¹ (SIAP, 2012).

Uno de los procesos que inciden directamente en la producción y calidad del fruto de arándano es la nutrición (Gwathmey *et al.*, 2009). Para alcanzar y mantener una nutrición balanceada se pueden utilizar varios métodos de diagnóstico que pueden ser directos o indirectos; entre los métodos directos el más usado es el diagnóstico agrícola, el cual dispone de varias herramientas como el análisis foliar o de tejidos que permite evaluar la concentración y contenido de nutrientes durante el ciclo del cultivo de manera más precisa (Moreno *et al.*, 2003). Es importante considerar que cada nutriente presenta una estacionalidad diferente en la planta, por lo que representa un indicador

del grado de absorción, utilización, redistribución interna y de extracción de nutrientes, de ahí que, la determinación de la concentración en los diferentes órganos de la planta, sirven como referencia para la programación de la fertilización.

Para evaluar la absorción de nutrientes y su efecto en el rendimiento y la calidad del fruto de diferentes cultivos se han llevado a cabo numerosas investigaciones (Huang *et al.*, 2009; Roshani y Narayanasamy, 2010). Tagliavini *et al.* (2004) reportan que el fruto es el órgano dominante en la absorción de K, como se observa en naranja Navel (Storey y Treeby, 2000), frambuesa roja (Pineda *et al.*, 2008) y banano Dominico (Castillo *et al.*, 2011); Daugaard (2001) analizó el estado nutrimental de siete cultivares de fresa en dos años de producción, y encontró diferencias significativas en el contenido nutrimental entre cultivares y concluye que la capacidad de extracción de un nutriente es una propiedad específica del cultivar; lo cual debe tomarse en cuenta en la evaluación de la demanda nutrimental de la fresa. Avitia *et al.* (2014) mencionaron que la mayor demanda para fresa cv. Roxana en diferentes etapas (de estolones a fructificación); el Ca y el K fueron los elementos más extraídos por la planta. En Chile de agua Valentín *et al.* (2013) mencionaron que el K es extraído en mayor cantidad en la etapa de floración y formación de fruto, debido a que las flores y frutos son los principales órganos de demanda. Por lo que el manejo de la nutrición en un sistema de producción agrícola resulta complejo, sin embargo, una vez determinado el nivel del nutriente (normal, excesivo o deficiente), es posible diseñar estrategias de manejo para evitar la reducción del potencial productivo provocado por algún nutriente, que como

el K es esencial para la planta por la función que desempeña en procesos de osmoregulación y regulación estomatal, activación de enzimas, síntesis de proteínas, fotosíntesis, carga de floema, transporte y absorción y neutralización de aniones (Pettigrew, 2008; Ma y Shi, 2011); así mismo, influye directamente en la calidad y rendimiento de fruto (Ramírez *et al.*, 2011) y puede tener influencia sobre el contenido de antocianinas que tienen relevancia nutracéutica como antioxidantes, anticancerígenas y reductoras de triglicéridos y de colesterol (De Pascual y Sánchez, 2008).

El K además tiene un papel importante; ya que se encuentra en interrelación con otros nutrimentos dentro de la planta y el suelo, que le permiten modificar la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades o conocer el comportamiento que tiene en la solución del suelo por la absorción de éste, dependiendo de los diferentes tipos y minerales, vegetación, las condiciones de desarrollo, el tiempo y las prácticas de fertilización (Sepat *et al.*, 2010; Darunsontaya *et al.*, 2012); debido a que la mayor parte del K se encuentra casi siempre en formas no asimilables, encontrándose únicamente del 1 al 2 % del K total en forma aprovechable en la solución del suelo o como intercambiable en los coloides (López *et al.*, 2008).

Si bien existen estudios para la determinación de K en hoja de arándano en tres cultivares Misty, Jewel y Emerald y reportaron valores de 5.2, 3.7 y 4.8 mg g⁻¹ de K, respectivamente (Rivadeneira, 2012) no se reporta información sobre las

concentraciones óptimas de K en el ECP y SS. Debido a que el arándano se cultiva en sistemas intensivos de producción y que tiene una influencia determinante en la calidad y tamaño del fruto, principales atributos para su exportación, por lo que es importante generar información sobre los niveles nutrimentales óptimos en el ECP y su relación con la SS y hoja, con la finalidad de establecer un diagnóstico rápido y preciso que permita generar estrategias del manejo nutrimental directamente en campo, y a su vez, aumentar el potencial productivo del arándano y su calidad postcosecha, además de hacer un uso más eficiente de los fertilizantes potásicos, que impactan en los costos de producción del cultivo.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la concentración de potasio en el extracto celular de peciolo y su relación con la hoja y solución del suelo, en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano cv. Biloxi en condiciones de clima subtropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un huerto comercial ubicado en el municipio de Los Reyes, Michoacán, México, que está entre los paralelos 19°30' y 19°49' de latitud norte; los meridianos 102°15' y 102°36' de longitud oeste; una altitud 1300 msnm, temperatura anual promedio mínima de 10 y máxima 24°C, una precipitación anual entre 1000 a 1500 mm. El tipo de suelo pertenece al orden de los Andosoles, que son suelos generalmente desarrollados a partir de materiales volcánicos con cantidades

significativas de materiales amorfos como minerales (alófano, imogolita, ferrihidrita), complejos de aluminio-humus o cantidades específicas de vidrio volcánico (Soil Survey Staff, 1999). El suelo donde se estableció el cultivo de arándano tiene textura franco-arenosa, densidad aparente (D_a) = 1.19 g cm^{-3} , materia orgánica (MO) = 2.19%, pH = 4.13, conductividad eléctrica (CE) = 1.25 dS m^{-1} y 119 mg kg^{-1} de potasio intercambiable (K).

Establecimiento del cultivo y diseño estadístico

Las plantas de arándano fueron del cv. Biloxi de 6 años de edad, establecidas a una densidad de $5,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (1 m entre plantas x 2 m entre hileras). El agua de riego presentó las siguientes características físico-químicas: pH = 6.7; CE = 0.36 dS m^{-1} ; bicarbonatos, cloruros y boro 122, 30.5 y 0.03 mg L^{-1} , respectivamente. En el Cuadro 1 se indica la cantidad de fertilizantes aplicados mediante riego por goteo durante el desarrollo de la investigación. El diseño experimental fue completamente al azar con 5 tratamientos y cuatro repeticiones, con un total de 20 unidades experimentales.

Cuadro 1. Dosis de fertilizante aplicado en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano.

Mes	Etapa fenológica	Dosis aplicada		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		Kg ha ⁻¹		
Agosto	Vegetativa	0.701	0.427	0.408
Septiembre	Vegetativa	0.701	0.427	0.408
Octubre	Floración	0.701	0.427	0.408
Noviembre	Amarre de fruto	1.145	0.549	1.428
Diciembre	Fructificación	1.145	0.549	1.428

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), regresión lineal y correlaciones simples de Pearson entre las variables (concentración de K en ECP, hoja y SS), con el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, 1999).

Toma de muestras

El muestreo de SS, ECP y hoja se realizó cada mes desde agosto a diciembre del 2012, en las etapas de desarrollo vegetativo hasta fructificación. Para el análisis de hoja (lámina foliar y pecíolo) se muestrearon hojas recientemente maduras, asintomáticas y libres de daños y lesiones (70 hojas por repetición) del tercio medio de las plantas. Las condiciones que imperaron durante el muestreo fueron temperaturas entre 20 y 30°C y la humedad de suelo estuvo a capacidad de campo (20.2% de humedad aprovechable). Las hojas de arándano se lavaron cuidadosamente con agua destilada, se retiró el exceso de agua con papel absorbente y posteriormente fueron etiquetadas y colocadas

en bolsas de papel y secadas en una estufa con circulación de aire forzado a 70°C hasta que estas alcanzaron un peso constante (aproximadamente 48 horas). Posteriormente, las muestras se molieron en un molino tipo Willey, provisto de un tamiz malla 40 y procesadas por digestión húmeda. La concentración de K se cuantificó en un espectrómetro de emisión atómica (AES-ICP) marca Varian® (Sarkar y Haldar, 2005); cada muestra se analizó por triplicado.

Para el análisis de SS se recolectaron 20 mililitros por muestra, las cuales se colocaron en viales a una temperatura entre 4 y 5°C, para ello se instalaron lisímetros marca Irrometer® a una profundidad de 25 cm y a 10 cm de distancia de la zona del gotero, en cada repetición y cuando el suelo se encontraba a capacidad de campo (8-10 KPa, medida con un tensiómetro marca Irrometer®), se les aplicó vacío con una bomba de mano marca Irrometer® conectada a la manguera y con la abrazadera en posición abierta hasta que el manómetro indicaba 70 a 80 KPa. Posteriormente, unas 12 horas aproximadamente, se colectó la muestra de SS con una jeringa hipodérmica de 60 mL.

Para el análisis del ECP se tomaron 100 peciolas de hojas recientemente maduras de las plantas de arándano cuando la temperatura de las hojas estaba entre 20 y 30° C, la cual se midió con un termómetro laser marca Steren® y la humedad del suelo a capacidad de campo como se indicó anteriormente. El ECP se obtuvo con una prensa hidráulica en campo, se colectó un mililitro de muestra y se colocó en viales, agregando

agua desionizada con una relación 1:10 v/v y ésta se mantuvo en una temperatura entre 4 y 5°C hasta su análisis. Los valores de K⁺ en solución del suelo, ECP y hoja se determinaron con un espectrómetro de emisión atómica (AES-ICP) marca Varian®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potasio en el extracto celular

La demanda elevada de K por parte de la planta se relaciona con una eficiente absorción y translocación a la parte aérea. El K muestra una alta movilidad en las plantas, entre raíz y parte aérea por el xilema y el floema y dentro de la parte aérea de unas hojas a otras, donde nuevamente tendrá que ser conducido a través de los distintos tejidos a todas las células de la planta (Mahouachi *et al.*, 2006) (Figura 1).

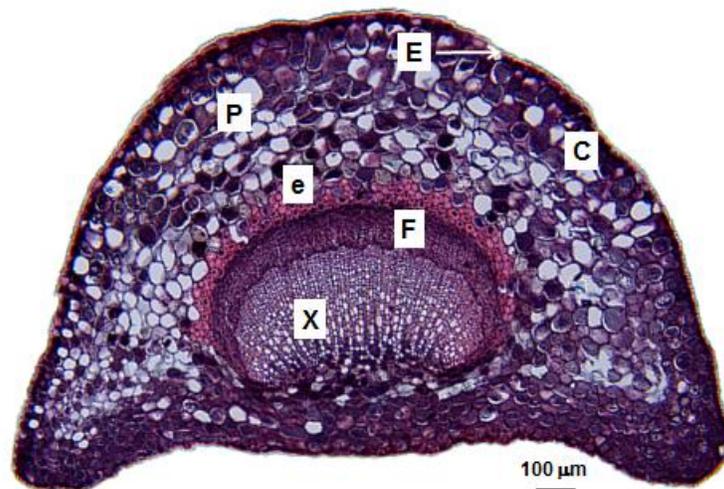


Figura 1. Sección transversal de pecíolo de arándano azul cv. Biloxi: xilema (X); floema (F); epidermis (E); parénquima (P); colénquima (C); esclerénquima (e).

La composición y concentración de los elementos minerales y solutos orgánicos en la savia, dependen de varios factores entre los que se encuentran: la especie vegetal, el suministro de fertilizantes, la asimilación de nutrientes minerales por las raíces, el reciclaje de nutrientes y el riego; este último es importante en la composición de la concentración de solutos, los cuales están influenciados por el grado de dilución con el agua, siendo dependientes del suministro de ésta para la absorción de nutrientes, de la tasa de transpiración y la hora del día en que se toma la muestra.

Los resultados de la concentración de K en ECP no mostraron diferencias estadísticas significativas entre etapas fenológicas (Figura 2); se observó un comportamiento casi lineal, ya que desde la etapa vegetativa se incrementaron las concentraciones de K hasta la fase de amarre de fruto y fructificación con valores de 808 a 1804 mg L⁻¹ de K, respectivamente.

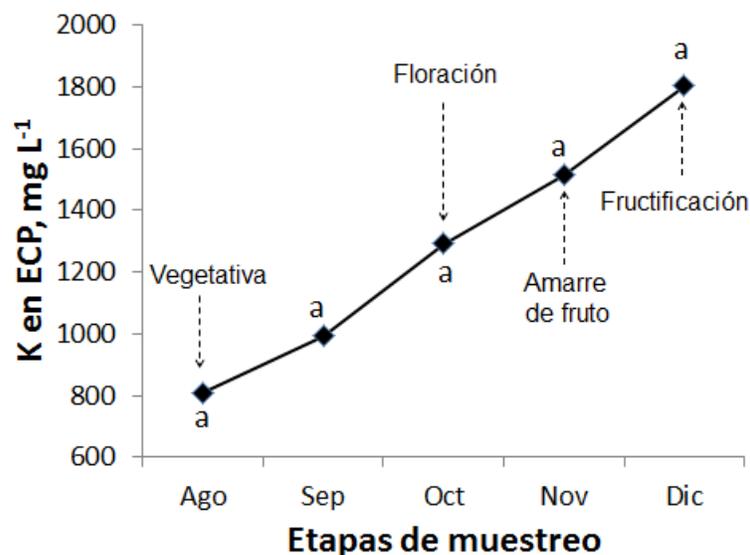


Figura 2. Concentración de potasio en ECP en diferentes etapas fenológicas de arándano cv. Biloxi.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Pineda *et al.* (2008) quienes estudiaron la dinámica de extracción de K en frambuesa roja indicando que la acumulación de este nutrimento fue constante sin variaciones importantes a lo largo de las diferentes etapas fenológicas e indicaron que durante la etapa vegetativa se extrajeron cantidades ligeramente mayores (27.9%) con relación a las demás etapas y, en éste mismo periodo indicaron tasas máximas de extracción diaria de $180 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; mientras que Molina *et al.* (1993) encontraron concentraciones de K entre 1.33 y 2.52 mg g^{-1} en diferentes variedades de fresa. La acumulación de K en las células de las hojas durante las etapas fenológicas, es debida a la demanda para la elongación de los tejidos formados en el desarrollo de tallos y hojas, además de aquellos generados en la diferenciación floral antes de la cosecha. Debe considerarse que el K de manera particular, no se liga a compuestos orgánicos en la planta, pero sí puede movilizarse fácilmente a sitios de crecimiento (Rodríguez y Rubio, 2006). Por lo tanto, el extracto celular (savia) puede ser un indicador de diagnóstico nutrimental, ya que la savia corresponde al fluido extraído de los tejidos conductores de la planta y el análisis permite conocer el nivel de nutrición.

Concentración de potasio en la hoja materia seca

La Figura 3 muestra el comportamiento de K en hoja en las etapas de crecimiento del arándano. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las diferentes fechas de muestreo ($p < 0.05$). La menor concentración de K se observó en el mes de

agosto y septiembre (etapa vegetativa) con 1.64 y 1.90 mg g⁻¹ K, respectivamente; se observó un incremento considerable en el mes de noviembre en la etapa de amarre de fruto (13.99 mg g⁻¹ K); mientras que en el mes de diciembre (fructificación) hay una caída en la concentración de K en las hojas (7.61 mg g⁻¹ K) debido a la cercanía de la fructificación, ya que el potasio se transloca de las hojas maduras a los sitios de demanda (sink metabólicos).

Uno de los elementos más demandados por los frutales es el K. Tagliavini *et al.* (2004) reportan que el fruto es el órgano dominante en la absorción de éste, como se observa en naranja 'Navel' (Storey y Treeby, 2000), frambuesa roja (Pineda *et al.*, 2008) y banano 'Dominico' (Castillo *et al.*, 2011); Daugaard (2001) analizó el estado nutricional de siete cultivares de fresa en dos años de producción, y en ambos años encontró diferencias significativas en el contenido nutricional entre cultivares y concluyó que la capacidad de extracción de un nutrimento es una propiedad específica del cultivar; lo cual debe tomarse en cuenta en la evaluación de la demanda nutricional de la fresa. Avitia *et al.* (2014) mencionaron que la mayor demanda para fresa cv. Roxana se presentó en diferentes etapas de desarrollo; el Ca y el K fueron los elementos más extraídos por la planta.

Los resultados concuerdan con otros autores que aseguran que los árboles frutales presentan una menor concentración de K en las hojas durante el periodo de crecimiento en comparación con el fruto (Velasco *et al.*, 2012); lo que refleja que el mecanismo de transporte de K a cada parte de la planta durante las diferentes fases de crecimiento

dependen del cultivo (Medina *et al.*, 2013). Maldonado *et al.* (2012) reportaron concentraciones de K foliar antes de la floración de 11.6 mg g^{-1} y después de la cosecha los valores bajaron a 8.7 mg g^{-1} en el cultivo de litchi; por lo que existe una relación entre la composición mineral de la hoja y la fruta, las cuales presentan una variabilidad por los órganos analizados, madurez o niveles de fertilización (Zolfaghari *et al.*, 2010; Millour *et al.*, 2012; Santoni *et al.*, 2014), lo que demuestra la importancia del K en la fructificación y el papel que representa la división celular durante el crecimiento.

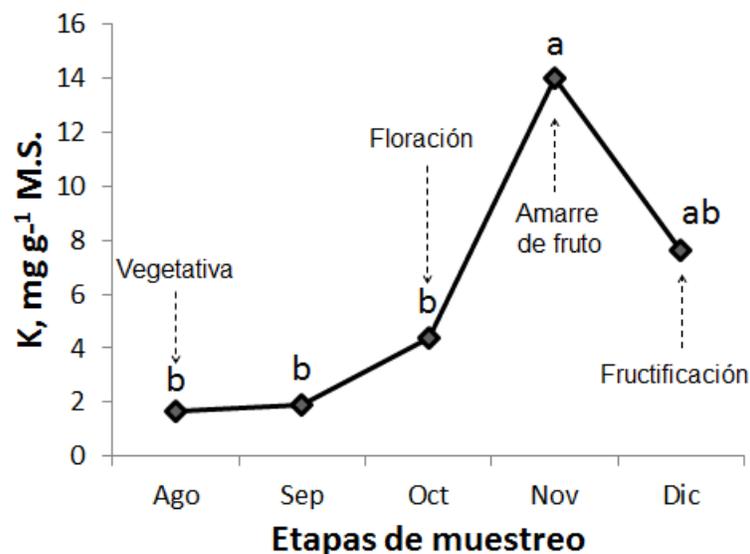


Figura 3. Concentración de potasio en hoja en diferentes etapas fenológicas de arándano.

A pesar de que la composición mineral en hojas de arándanos es menor que la de otros frutales no se han desarrollado trabajos con cv. Biloxi al respecto. Rivadeneira (2012) reportó concentraciones de K en hojas de arándano de 0.52, 0.37, 0.48 $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$

MS en tres cv. Misty, Jewel y Emerald, respectivamente e indicó que la composición mineral de K no mostró diferencias entre cultivares.

Al realizar el análisis de regresión entre el contenido de ECP y tejido seco de hojas se obtuvo una regresión lineal directa entre las variables con una r^2 de 0.7884; lo que indica que existe un patrón que podría considerarse consistente entre ambas partes (Figura 4). Mientras que el coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.88792 con ($p = <0.0001$) lo que sugiere un equilibrio del contenido de K entre ECP y hoja, generando resultados confiables entre estos métodos de medición.

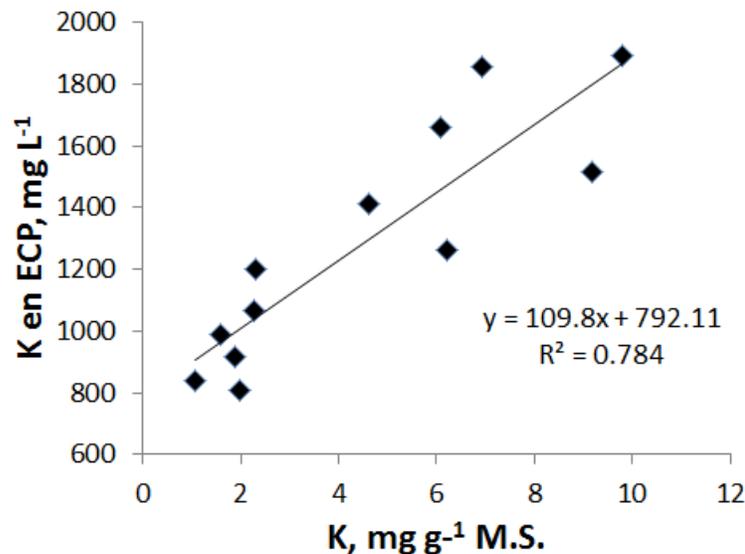


Figura 4. Regresión entre la concentración de K en extracto celular de peciolo y K en hoja en el cultivo de arándano.

La gran mayoría de cultivos perennes, habitualmente utilizan como método de diagnóstico nutricional el análisis foliar en tejido vegetal; pero el análisis de nutrientes en la biomasa es un método que presenta como principal dificultad el tiempo empleado

(es más largo) para conocer los resultados de laboratorio representando un retraso en el diagnóstico y en consecuencia una considerable pérdida del potencial productivo; mientras que la determinación de los nutrientes en extracto celular es un método de diagnóstico ágil, ya que los resultados se obtienen en menos tiempo, con lo cual se conoce el contenido de cada elemento en la planta y los resultados sirven de apoyo para pronosticar deficiencias, antes de que los síntomas se manifiesten en los tejidos foliares u otros órganos de la planta (Santoni *et al.*, 2014).

Potasio en la solución del suelo

La SS es el medio donde ocurre la absorción de nutrientes por la raíz y es altamente variable y dinámica durante el proceso de crecimiento de los cultivos. Los valores para la concentración de K en SS para el cultivo de arándano no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las diferentes etapas de crecimiento. Sin embargo, se observa una disminución desde el mes de octubre ($17.3 \text{ mg L}^{-1} \text{ K}$) a diciembre ($15.4 \text{ mg L}^{-1} \text{ K}$), es decir, desde la floración hasta fructificación (Figura 5). El incremento de K en la etapa vegetativa correspondiente al mes de septiembre ($22.4 \text{ mg L}^{-1} \text{ K}$) seguramente se relaciona con una baja demanda del cultivo. Cabe señalar, que las concentraciones de K en la SS, en todas las etapas, fueron bajas ($< 27 \text{ mg L}^{-1}$).

Se han realizado diversos estudios de K en el suelo enfocados especialmente a la fijación en diferentes tipos de suelo (Zhang *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2011); así como el manejo de las reservas de K en el mismo y los sistemas de producción (Srinivasarao *et*

al., 2007); ya que el potencial de suministro de K en los suelos tiene un efecto directo sobre el rendimiento de los cultivos (Huang *et al.*, 2009). Aproximadamente, el 90% del K total que la planta absorbe lo hace a través de la raíz por difusión. La concentración de K varía entre 1 y 10 mg K kg⁻¹ suelo, y puede disminuir por tres razones: a) absorción de las plantas, b) lixiviación a capas inferiores; y c) fijación que presentan los minerales de arcillas 2:1. La reposición de la concentración de K intercambiable se modifica por la adición de fertilizante y se equilibra por cambios de Ca y Mg intercambiables, los cuales se liberan a la solución del suelo además de que la competencia iónica, disminuye la eficiencia de los fertilizantes potásicos (Aguado *et al.*, 2002). Cabe mencionar que, los suelos donde se llevó a cabo el estudio presentan altos niveles de magnesio en el complejo de intercambio (> 20% de saturación).

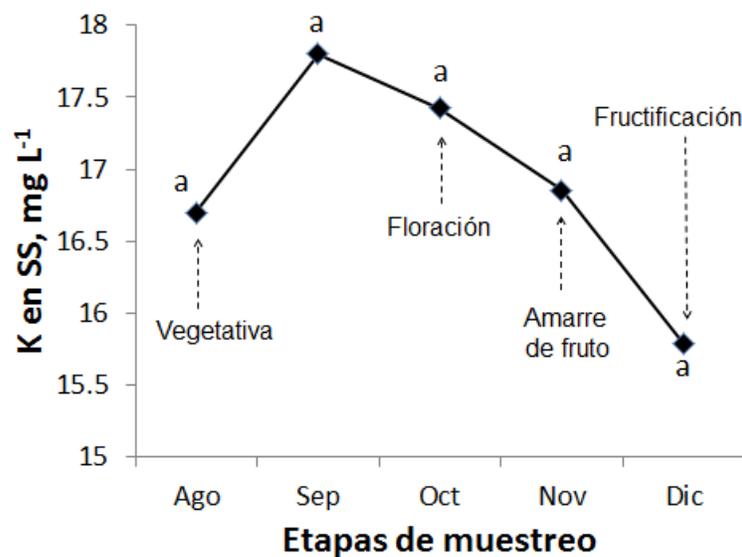


Figura 5. Concentración de potasio en la solución del suelo en el cultivo de arándano.

Galindo *et al.* (2011) determinaron la estacionalidad de NPK en diferentes partes de la planta de frambuesa e indicaron que la menor concentración de K se presentó en las raíces, porque principalmente lo moviliza hacia órganos de mayor demanda, como hojas y frutos.

En la Figura 6 se observa que existe una relación inversamente proporcional entre la concentración de K en ECP y SS. El K accede a las raíces por difusión, por lo tanto, mientras mayor sea la demanda de este elemento para el crecimiento del fruto en la planta, menor será la concentración en el suelo.

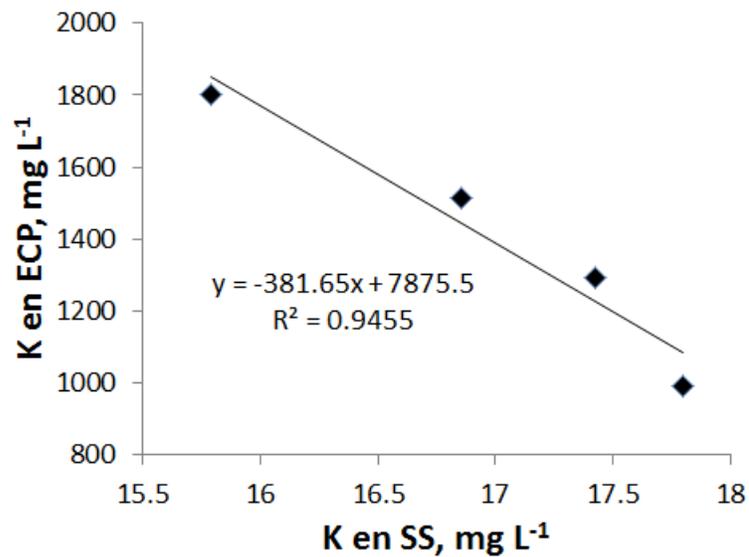


Figura 6. Regresión entre la concentración de K en extracto celular de peciolo y K en solución del suelo.

CONCLUSIONES

La concentración de potasio en el extracto celular del pecíolo correlacionó significativamente con el potasio acumulado en las hojas de plantas de arándano cv. Biloxi. La mayor concentración de potasio en hoja y extracto celular del pecíolo se encontró en la etapa de amarre de fruto y fructificación. Se observó una relación inversamente proporcional entre la concentración de potasio en la solución del suelo y el potasio en el extracto celular de pecíolo en arandano

BIBLIOGRAFÍA

Aguado L G, J D Etchevers , C Hidalgo, A Galvis, A Aguirre (2002) Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*. 36: 11-21.

Avitia G E, P J Pineda, G A M Castillo, T L I Trejo, T T Corona, U E Cervantes (2014) Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (3). 519-524.

Castillo G A M, M J A Hernández, G E Avitia, P J Pineda, A L A Valdéz, T T Corona (2011) Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa* spp.). *ytón* 80:65-72.

Darunsontaya T, A Suddhiprakarn, I Kheoruenromne, N Prakongkep, R Gilkes (2012) The forms and availability to plants of soil potassium as related to mineralogy for upland Oxisols and Ultisols from Thailand. *Geoderma* 170:11-24.

Daugaard H (2001) Nutritional status of strawberry cultivars in organic production. J. Plant Nutrit. 24(9):1337-1346.

De Pascual-Teresa S, M T Sánchez-Ballesta (2008) Anthocyanins: from plant to health. Phytochemical Review 7:281-299.

Díaz-Montenegro D H (2002) Fisiología de árboles frutales. AGT Editor. México, D. F. 390 p.

Galindo-Reyes, V A González-Hernández, A López-Jiménez, P Sánchez-García, R M Soto-Hernández, A Muratalla-Lúa (2011) Concentración y acumulación de N, P y K en frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) manejada a dos cosechas anuales. Terra Latinoamericana 29 (2): 143-151.

Gwathmey C O, C L Main, X Yin (2009) Potassium uptake and partitioning relative to dry matter accumulation in cotton cultivars differing in maturity. Agronomy Journal 101:1479-1488.

Huang S W, J Y Jin, D S Tan (2009) Crop response to long-term potassium application as affected by potassium-supplying power of the selected soils in Northern China. Communications Soil Science and Plant Analysis 40:2833-2854.

López B G I, S Salgado-García, D J Palma-López, L C Lagunes-Espinoza, M Castelán-Estrada, J D Etchevers-Barra (2008) Dinámica del potasio en vertisoles y fluvisoles cultivados con caña de azúcar. Terra Latinoamericana 26 (3):253-263.

Ma L, Y Shi (2011) Effects of potassium fertilizer on physiological and biochemical index of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Energy Procedia 581–586.

Mahouachi J, A R Socorro, M Talon (2006) Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: Growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant and Soil* 281:137-146.

Maldonado Peralta R, A Trinidad Santos, D Téliz Ortíz, V A Velasco Velasco, V H Volke. Haller (2012) Respuesta del litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) a la fertilización con NPK en el norte de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (3): 251-258.

Millour S, L Noël, R Chekri, C Vastel, A Kadar, V Sirot (2012) Strontium, silver, tin, iron, tellurium, gallium, germanium, barium and vanadium levels in foodstuffs from the second French total diet study. *Journal of Food Composition and Analysis* 25:108-129.

Medina H N, M T L Branco, A M Guazzelli da Silveira, R R B Santos (2013) Dynamic distribution of potassium in sugarcane. *Journal of Environmental Radioactivity* 126:172-175.

Molina E, R Salas, A Castro (1993) Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria ananassa* Duch cv. Chandler) en Alajuela. *Agronomía Costaricense* 17: 67 – 73.

Moreno V, M H Prieto, M J Moñino, J Labrador, M I García (2003) Evaluación de métodos rápidos de análisis de nitrógeno y potasio en savia para seguimiento del estado nutricional de un cultivo de pimentón. En: *Actas de Horticultura N° 39*. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas Pontevedra, España. pp: 600- 602.

Pettigrew W T (2008) Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiology Plant* 133:670-681.

Pineda P J, E Avitia, A M Castillo, T Corona, L A Valdez, J Gómez (2008) Extracción de macronutrientes en frambueso rojo (*Rubus idaeus* L.). Terra Latinoamericana 26: 333 – 340.

Ramírez Santoyo L F, J Muro Erreguerena, F R Díaz Serrano (2011) Efecto de diferentes concentraciones de potasio en parámetros de calidad en jitomate hidropónico. Acta Universitaria 21 (1): 5-10.

Rivadeneira M F (2012) Concentración de nutrientes en hojas de diferente estado de desarrollo en arándano. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Vol.38 núm 3 Diciembre. Buenos Aires, Argentina. pp 247-250. ISSN 0325-8718

Rodríguez N A, F Rubio (2006) High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. J Exp Bot 57:1149 – 1160.

Roshani G A, G Narayanasamy (2010) Effects of potassium on temporal growth of root and shoot of wheat and its uptake in different soils. International Journal of Plant Production 4: 25-32.

Sarkar D, A Haldar (2005) Physical and chemical methods in soil analysis. New Age International (P) Ltd., Publishers. New Delhi. 192 p.

Santoni F , J Paolini , T Barboni, J Costa (2014) Relationships between the leaf and fruit mineral compositions of *Actinidia deliciosa* var. Hayward according to nitrogen and potassium fertilization. Food Chemistry 147:269–271.

SAS Institute (1999) SAS/STAT® User's Guide. Version 9.0 SAS Institute Inc., Cary, NC: pp:209-243.

Sepat R N, R K Rai, Dhar, Shiva (2010) Planting systems and integrated nutrient management for enhanced wheat (*Triticum aestivum*) productivity. *Indian Journal Agronomy* 55:114-118.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2012) Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.org.mx>

Soil Survey Staff (1999) Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Agriculture Handbook 436. Washington, DC.

Srinivasarao C, K Vittal, K Tiwari, P Gajbhiye, S Kundu (2007) Categorisation of soils based on potassium reserves and production systems: implications in K management. *Australian Journal of Soil Research* 45:438-447.

Storey R, M T Treeby (2000) Seasonal changes in nutrient concentrations of navel orange fruit. *Scientia Horticulturae*. 84:67-82.

Tagliavini M, E Balde, R Nestby, C Raynal-Lacroix, P Lieten, T Salo, D Pivot, P Lucchi, G Baruzzi, W Faedi (2004) Uptake and partitioning of major nutrients by strawberry plants. *Acta Horticulturae*. 649:197-199.

Valentín-Miguel M C, R Castro-Brindis, J E Rodríguez-Pérez, M Pérez-Grajales (2013) Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.) *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19 (4): 71-78.

Velasco H, A S Cid, R M Anjos, C Zamboni, M Rozzotto, D L Valladares, J J Ayub (2012) Variability of ^{137}Cs and ^{40}K soil-to-fruit transfer factor in tropical lemon trees during the fruit development period. *Journal of Environmental Radioactivity* 104: 64-70.

Zhang H, M Xu, P Zhu, C Peng (2011) Effect of 15-year-long fertilization on potassium quantity/intensity relationships in black soil in Northeastern China. *Communication Soil Science Plant Analysis* 42:1289-1297.

Zhang H, M Xu, W Zhang, X He (2009) Factors affecting potassium fixation in seven soils under 15-year long-term fertilization. *Chinese Science Bulletin* 54:1773-1780.

Zolfaghari M, A Sahari, M Barzegar, H Samadloiy (2010) Physicochemical and enzymatic properties of five kiwi fruit cultivars during cold storage. *Food Bioprocess Technology* 3:239-246.

**V. CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL Y CALIDAD POSTCOSECHA EN FRUTOS DE
ARÁNDANO AZUL CV. BILOXI EN LOS REYES MICHOACÁN, MÉXICO
NUTRITIONAL CONCENTRATION AND POST HARVEST QUALITY OF CV.
BILOXI BLUEBERRIES IN LOS REYES MICHOACÁN, MÉXICO**

**David Hernández Hernández¹, Prometeo Sánchez García^{1*}, Alfredo López
Jiménez², Crescenciano Saucedo Veloz², Salvador V. Garibay Kuri³, José López
Medina⁴.**

¹Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados-Campus Motecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco.56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Fax 01 (595) 95 202 00.

²Postgrado en Fruticultura, Colegio de Postgraduados-Campus Motecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco.56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Fax 01 (595) 95 202 00.

³ Departamento de Cooperación Internacional, Instituto de Investigaciones para la Agricultura Orgánica (FiBL). Ackerstrasse 113, Postfach 219 CH-5070 Frick, Suiza. Teléfono +41 62 865 72 72, Fax +41 62 865 72 73. ⁴ Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México. Teléfono (+52) (443) 322 3500.

*Autor para correspondencia (promet@colpos.mx)

RESUMEN

La calidad postcosecha de los frutos está directamente relacionada con el manejo agronómico del cultivo en campo. El arándano es un fruto con bajo nivel calórico y cuenta con una gran diversidad de compuestos nutraceuticos, que son benéficos para la salud humana. El objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración nutrimental y calidad postcosecha en frutos de arándano azul cv. Biloxi de 6 años de edad, con una densidad de plantación de 5,000 plantas ha⁻¹, bajo condiciones de Los Reyes, Michoacán, México. Los frutos tuvieron la siguiente concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y B: 16.7, 0.38, 0.45, 0.52, 0.27 mg g⁻¹ y 20.78, 2.46, 86.99 y 3.28 mg kg⁻¹, respectivamente; presentando el siguiente gradiente de concentración nutrimental N>Ca>K>P>Mg>Mn>Fe>B>Cu. Los parámetros de calidad postcosecha fueron para peso 1.55 g., diámetro ecuatorial 10.58 mm y polar 15.27 mm, firmeza 2.60 Newton, sólidos solubles totales 14.01%, pH 3.44, acidez titulable 1.50 % y contenido de vitamina C 20.19 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo. La calidad postcosecha está predeterminada genéticamente, ya que se encontraron valores similares para esos parámetros en arándanos producidos en otros países.

Palabras Clave: *Vaccinium corymbosum* L., sólidos solubles totales, vitamina C, índice de madurez.

SUMMARY

The quality of the fruits post harvest is directly related with the agronomic management of the growing field. Blueberries are a fruit with low caloric levels and a great diversity of nutraceutical compounds that are beneficial for human health. The objective of this study was to determine the nutritional concentration and post harvest quality of 6 year old cv. Biloxi blueberries with a plantation density of 5,000 plants ha⁻¹ in the climate conditions of Lo Reyes, Michoacán, México. The fruits presented the following concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn and B: 16.7, 0.38, 0.45, 0.52, 0.27 mg g⁻¹ and 20.78, 2.46, 86.99 and 3.28 mg kg⁻¹ respectively; showing the following nutritional concentration range: N>Ca>K>P>Mg>Mn>Fe>B>Cu. The post harvest quality parameters for each 1.55g were: equatorial diameter 10.58 mm, polar diameter 15.27 mm, firmness 2.60 Newton, total soluble solids 14.01%, pH 3.44, titratable acidity 1.50% , and vitamin C content 20.19 mg of ascorbic acid in 100 ml of juice. Similar values for these parameters were found for blueberries grown in other countries and so, it can be said that the post harvest quality is determined genetically.

Index words: *Vaccinium corymbosum* L., total soluble solids, vitamin C, ripe index.

INTRODUCCIÓN

La producción de arándanos en México se ha incrementado en los últimos años; éstos se desarrollan normalmente en condiciones de suelos ácidos, donde los niveles de macronutrientes se mantienen bajos, en general ésta especie requiere de poca fertilidad, siendo sensible a excesos de sales. La planta de arándano incrementa su producción paulatinamente con el tiempo y alcanza los máximos rendimientos cerca del sexto año, lo cual explica la necesidad creciente de nutrientes cuando se encuentra en plena producción, especialmente por la baja eficiencia de absorción del sistema radicular (Vidal, 2005); por lo que los principales problemas en los sistemas de producción son los programas de manejo de fertilización adecuada que están directamente relacionados con la producción y calidad de frutos.

La postcosecha engloba aspectos estéticos como textura (firmeza, jugosidad y turgencia) y apariencia (color, frescura y ausencia de pudrición o desórdenes fisiológicos); éstos aspectos son importantes para la calidad de las frutas, además de los nutrientes que tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas. Por ejemplo, el K se asocia con el rendimiento, tamaño y firmeza de fruta; el Ca con la firmeza, sanidad y vida postcosecha; el N con el crecimiento, productividad, vigor de la planta, entre otros. Los compuestos nitrogenados en exceso, pueden ser liberados al exterior de la flor o del fruto, provocando un daño y un desorden a nivel nutricional, ya que dicho elemento se queda dentro de los tejidos, aumenta la actividad del etileno en

tejidos maduros y con ello, la actividad enzimática que se encarga de degradar las pectinas afectando la vida de postcosecha de la fruta.

El arándano es un fruto con bajo nivel calórico y cuenta con una gran diversidad de compuestos nutraceuticos, que son benéficos para la salud humana; por este motivo, se ha convertido en uno de los productos frutícolas con mayor demanda en la actualidad. Los arándanos son frutos climatéricos muy perecederos, es decir, son cosechados a partir de la madurez fisiológica y son capaces de adquirir características semejantes a los que se maduran en el arbusto. Sin embargo, al alcanzar el estado de máxima calidad, se presenta la sobremadurez rápidamente, asociada con la presencia de un excesivo ablandamiento, pérdida de sabor y de color; factores que son asociados con la tasa respiratoria (Moggia, 1991; Salunkhe *et al.*, 1991; Darnell *et al.*, 1992; Kader, 1999). Durante el proceso de maduración de las frutas, el cambio cuantitativo más importante es la conversión del almidón en azúcares, ya que a lo largo de este proceso se altera el sabor y la textura de la fruta (Wills *et al.*, 1985); otro aspecto que se debe conocer es la temperatura, valores entre 4 y 5 °C se consideran de baja a moderada y a mayor tasa respiratoria, más altos serán los cambios involucrados en la maduración y en la pérdida de la calidad (Yommi y Godoy, 2002). Es importante mencionar, que la cosecha se alcanza de 60 a 80 días después de la floración dependiendo del cultivar y de la temperatura del lugar y se basa en el tamaño y color de la superficie de la fruta la cual debe ser 100% azul (Bassett, 2006); también se pueden usar otros indicadores como el nivel de sólidos solubles (SS) y la acidez titulable (Mitcham *et al.*, 2003).

Los sólidos solubles indican el porcentaje de azúcar contenido en la fruta (Wills *et al.*, 1985); en algunos productos como el jugo de frutas están constituidos principalmente por azúcares como: glucosa, fructosa y sacarosa y en menor grado, por ácidos orgánicos y algunas proteínas. En frutos maduros determinan el sabor, color y en general la calidad en las frutas (Moggia, 1991); para cosechar el arándano los valores de SS pueden oscilar entre 10 y 17% (Medel, 1982). Otro parámetro de calidad es la acidez titulable que indica el porcentaje de ácidos orgánicos contenidos en los frutos, los cuales en general tienen un ácido orgánico predominante, aunque los más abundantes son el ácido cítrico y el ácido málico; éstos reducen el pH en la fruta y se pueden alcanzar valores de pH 2 y 4 como sucede con el limón y tomate, respectivamente (Barceló *et al.*, 2001). Los principales ácidos orgánicos presentes en arándanos son los ácidos cítrico, málico, quínico y trazas de succínico (Kushman y Ballinger, 1968). Sapers *et al.* (1984) señalaron valores de acidez titulable para arándano entre 0.40 y 1.31 % ácido cítrico; es importante mencionar que el sabor depende del balance entre el dulzor, la acidez y el aroma; los arándanos ácidos y aromáticos eran considerados de mayor calidad, sin embargo ahora para consumo en fresco deben presentar un nivel balanceado de sólidos solubles y acidez, combinados con una firmeza y aroma agradable (Janick y Moore, 1996).

Cabe señalar que, las propiedades nutricionales y nutraceuticas del arándano son constantemente investigadas y promovidas; su consumo ha sido recomendado para todo tipo de personas, destacando el contenido de fibra, su elevado aporte de K y por

ser buena fuente de Vitamina A y C (Prior *et al.*, 1998; Sellapan *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2003). Sin embargo, se ignoran los valores nutricionales y organolépticos, siendo estos los que determinan e influyen para la selección del producto por parte del consumidor (Pelayo *et al.*, 2001). Debido a lo anterior, la nutrición adecuada en los sistemas de producción no solo debe enfocarse al crecimiento y productividad, si no también deben tomar en cuenta los aspectos relacionados con la vida de postcosecha de la fruta. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración nutrimental (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn B y Na) y calidad (color, peso tamaño, firmeza, sólidos solubles, pH, acidez titulable y contenido de vitamina C) en frutos de arándano azul cv. Biloxi.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de arándano azul fueron recolectados en un huerto comercial ubicado en Los Reyes, Michoacán entre los paralelos 19°30' y 19°49' de latitud norte; los meridianos 102°15' y 102°36' de longitud oeste; con una altitud de 1300 msnm, con un rango de temperaturas de 10 a 24°C y una precipitación entre 1000 a 1500 mm. El suelo donde se estableció el cultivo de arándano tiene una textura franco-arenosa, densidad aparente (D_a) = 1.19 g cm⁻³, materia orgánica (MO) = 2.19%, pH = 4.13, y una conductividad eléctrica (CE) = 1.25 dS m⁻¹.

El material vegetal empleado para el estudio fue arándano azul cv. Biloxi de 6 años de edad, con una densidad de plantación de 5,000 plantas ha⁻¹; las bayas de esta variedad

presentan un tamaño medio, buen color, firmeza y sabor (*Spiers et al.*, 2002). El agua de riego presentó las siguientes características físico-químicas: pH = 6.7; CE = 0.36 dS m⁻¹; bicarbonatos, cloruros y boro: 122, 30.5 y 0.03 mg L⁻¹, respectivamente. En el Cuadro 1 se indica la cantidad de fertilizantes solubles aplicados mediante el riego durante el desarrollo del cultivo. Se establecieron cuatro repeticiones, distribuidas aleatoriamente en campo, donde cada una de ellas contó con 10 plantas.

Como índice de cosecha se utilizó el color de cubrimiento del fruto, el cual fue completamente azul, libre de daños y lesiones. Las condiciones que imperaron durante el muestreo fueron temperaturas entre 20 y 30°C y la humedad de suelo estuvo a capacidad de campo (20.2% de humedad aprovechable).

La fruta cosechada se colocó inmediatamente en una hielera y se transportó al laboratorio para evaluar los parámetros nutrimentales y calidad del fruto. Para determinar la concentración nutrimental de los frutos completos de arándano éstos se lavaron cuidadosamente con agua destilada, se retiró el exceso de agua con papel absorbente y posteriormente fueron etiquetados y colocados en bolsas de papel, se llevaron a una estufa con circulación de aire forzado a 70° C hasta que alcanzaron un peso constante (aproximadamente 48 horas). Posteriormente, las muestras se molieron en un molino tipo Willey, provisto de un tamiz malla 40. Se hizo una digestión húmeda y se analizó la concentración nutrimental en un espectrómetro de emisión atómica (AES-ICP) marca Varian®, cada muestra se analizó por triplicado.

Cuadro 1. Dosis de fertilizante aplicado en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arándano.

Mes	Etapa fenológica	Dosis aplicada		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		Kg ha ⁻¹		
Agosto	Vegetativa	0.701	0.427	0.408
Septiembre	Vegetativa	0.701	0.427	0.408
Octubre	Floración	0.701	0.427	0.408
Noviembre	Amarre de fruto	1.145	0.549	1.428
Diciembre	Fructificación	1.145	0.549	1.428

Para evaluar la calidad de fruta se tomaron 10 frutos por cada repetición, se realizaron determinaciones de los siguientes parámetros físicos: a) Peso. Para cada uno de los frutos se registró el peso con una balanza digital, los resultados se expresaron en gramos (g); b) Tamaño del fruto. Se midió el diámetro ecuatorial y polar de los frutos, con un vernier; se entiende por diámetro polar la distancia que existe entre la cicatriz pedicelar y la cicatriz calicinar del fruto; c) Firmeza del fruto. Se realizó con un texturometro digital marca Wagner Modelo FDV-30 y se midió por deformación con un puntal plano de 1 cm de diámetro; mientras que los indicadores químicos fueron: a) Sólidos solubles. Se determinaron mediante un refractómetro digital Atago Modelo PR-100, con una o dos gotas del jugo, el resultado se expresó como porcentaje (%) de sólidos solubles; b) pH. Se midió con un pH-metro con jugo sin diluir, obtenido de 50 g de frutos c) Acidez titulable. La acidez titulable (% ácido cítrico) se determinó de acuerdo con los métodos descritos por la A.O.A.C. (1990) y d) Vitamina C (ácido

ascórbico) se midió por el método de Tillman y los datos se reportaron como mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo (A.O.A.C., 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido nutrimental

El nitrógeno es el que predomina en la concentración nutrimental del fruto (Cuadro 2). Este elemento forma parte esencial de los aminoácidos, mismos que por uniones peptídicas forman los péptidos y las proteínas, además tienen una gran importancia en la síntesis enzimática y en el metabolismo; también se encuentra en las purinas y las pirimidinas de los ácidos nucleídos, en porfirinas de la clorofila y en los citocromos que son esenciales para la fotosíntesis y la respiración (Hanson, 2006). Ochmian *et al.* (2008) reportaron valores de 15 a 16 mg g⁻¹ de N en frutos de arándano cv. Sierra, desarrollado en diferentes sustratos, mientras que Skupień (2004) menciona concentraciones semejantes 17 a 28 mg g⁻¹ de N en cuatro cultivares de arándano. Estos niveles son similares a los encontrados en el presente estudio para el cv. Biloxi.

Cuadro 2. Concentración de macro y micronutrientes en fruto de arándano azul cv. Biloxi.

N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	B
----- mg g ⁻¹ , M.S.-----					----- mg kg ⁻¹ , M.S.-----			
16.7	0.38	0.45	0.52	0.27	20.78	2.46	86.99	3.28

M.S.= materia seca

Según Miner *et al.* (1997), la firmeza del fruto disminuye y su tamaño incrementa con la fertilización nitrogenada. Haynes y Goh (1987) observaron que las aplicaciones de sulfato de amonio en fresa incrementaron las concentraciones de alfa-amino-ácido-N y de polifenoles y se redujo la cantidad de ácido ascórbico. Las aplicaciones de N tuvieron un efecto variable sobre la acidez titulable y el contenido de azúcar en los frutos de un año a otro. En un experimento de dos ciclos, Nestby (1998) mostró que el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa en los frutos de fresa 'Korona' y 'Bounty', aumentó cuando el N se aplicó como NO₃⁻ a razón de 124 kg ha⁻¹ mediante fertirriego. Laceretosa *et al.* (1999) demostraron en un estudio en el sur de Italia, que las contenido de ácido y azúcares correlacionan inversamente con la concentración de N en los frutos de fresa.

En las plantas superiores el P se localiza en los fosfolípidos, que forman parte de las membranas. Otro éster fosfórico se encuentra en los ácidos nucleicos, es particularmente importante el ácido adenílico monofosfato (adenosina monofosfato ó

AMP), sustancia de origen de la adenosina difosfato (ADP) y de la adenosina trifosfato (ATP), quienes a su vez son precursores de las coenzimas nicotinamida-adenina dinucleotido (NAD) y nicotinamida-adenina dinucleotido-fosfato (NADP). La fotosíntesis, la glucólisis, el ciclo de Krebs, la β - oxidación, la oxidación directa de la glucosa y la descomposición de los carbohidratos, son procesos que involucran reacciones de fosforilación. Este elemento también participa en la división celular y en la transferencia de las características hereditarias de los cromosomas como constituyente del ADN y ARN (Lafond, 2013). Hirzel (2011) reportó valores de P en fruto que oscilaron entre 0.1 - 0.4 mg g⁻¹ para cv. Brigitta, 0.1 – 0.5 mg g⁻¹; Duke y 0.1 – 0.35 mg g⁻¹ para O'Neill. En el presente estudio la concentración de P en fruto de arándano cv. Biloxi fue de 0.38 mg g⁻¹. El K en la planta se presenta como ion libre a nivel de vacuolas y citoplasma, mismo que en conjunto con todos los demás componentes en solución regulan el gradiente osmótico en la célula originando así el turgor de la misma, esta es una de las principales funciones del K en la planta, además del transporte de fotosintatos de hojas a frutos y síntesis de enzimas (Britto y Kronzucker, 2008). Hirzel (2011) reportó concentraciones de K en fruto de arándano para cv. Brigitta, Duke y O'Neill que oscilaron entre 5-10, 5-11 y 6-9 mg g⁻¹, respectivamente. Estos valores son mayores a los encontrados para cv. Biloxi en el presente estudio (0.45 mg g⁻¹).

El Ca puede presentarse en las plantas como ion libre o en forma absorbida, se conocen varias sales de Ca que se encuentran en la vacuola o como incrustaciones en la pared celular. El Ca participa en el equilibrio electrostático de la célula, contribuye al

balance de aniones y cationes, participa en la elongación y multiplicación de los tejidos meristemáticos, desempeña funciones estructurales durante la reproducción celular en forma de pectatos de Ca, es importante en la formación de membranas celulares y estructuras lipídicas, es requerido en el mecanismo selectivo de absorción (Friedman *et al.*, 1989). Naphun *et al.* (2000) encontraron que la aplicación de Ca en plantas de fresa mejoró la firmeza de la fruta, además incrementó el contenido de ácido ascórbico, con la aplicación de Ca disminuyó la pectina soluble en agua y en ácido clorhídrico aumentó. Skupień (2004) indicó valores para Ca entre 1.27 y 1.91 mg g⁻¹ para cuatro cv. de arándano (Spartan, Bluecrop, Jersey y Blueray). Hirzel (2011) reportó concentraciones de Ca en fruto que oscilaron entre 0.5 - 5 mg g⁻¹ para cv. Brigitta; 0.5 - 5 mg g⁻¹ para Duke y 0.1 - 0.3 mg g⁻¹ para O'Neill. En el presente estudio la concentración de Ca en fruto de arándano cv. Biloxi fue de 0.52 mg g⁻¹.

El magnesio forma enlaces de tipo iónico, aunque también tiene un papel importante porque participa de forma activa en la regulación del pH celular y del balance anión-cación; otra función del magnesio es como elemento constitutivo de la clorofila y ribosomas, es de gran importancia en el metabolismo energético de la planta (fotosíntesis, glucólisis, ciclo de Krebs) (Orit, 2002). Se han reportado concentraciones de Mg en fruto de arándano para cv. Brigitta, Duke y O'Neill que oscilaron entre 0.5-2, 0.5-4 y 0.1-2 mg g⁻¹, respectivamente (Hirzel, 2011). Estos valores son mayores a los encontrados para cv. Biloxi en el presente estudio (0.27 mg g⁻¹).

El Fe se presenta en numerosos grupos prostéticos en forma de hemina o de hematina; los citocromos, la citocromo oxidasa, la peroxidasa y la catalasa, son algunas proteínas que lo contienen. El Fe es un cofactor de más de 130 enzimas que catalizan reacciones bioquímicas únicas e interviene en procesos como la fotosíntesis, respiración, reducción de nitratos y sulfatos. Una deficiencia de Fe en la planta origina que disminuya la concentración de clorofila, además de carotenos y xantofilas, mismas que afectan la actividad de los transportadores de electrones en los fotosistemas (Hänsch y Mendel, 2009). Ochmian *et al.* (2008) reportaron valores de Fe en frutos de arándano de 60.49 mg kg⁻¹. En el presente estudio la concentración de Fe en fruto de arándano cv. Biloxi fue 20.78 mg kg⁻¹.

El Cu es absorbido en cantidades muy pequeñas y su principal función es asociarse con enzimas de la clase oxidoreductasas, en la oxidación terminal de la célula vegetal enzimas con Cu (metaloproteínas) son las que reaccionan directamente con el oxígeno molecular. La plastocianina contiene un átomo de Cu por molécula, es un componente central de la cadena transportadora de electrones del fotosistema I (Havlin *et al.*, 1999; Kirkby y Römlheld, 2007). La concentración de Cu encontrada en frutos de arándano cv. Biloxi fue 2.46 mg kg⁻¹, lo que coincide con los niveles reportados por Ochmian *et al.* (2008) que oscilan entre 1.97 y 2.40 mg kg⁻¹; mientras que Skupieñ (2004) encontró valores menores (0.17-0.30 mg kg⁻¹).

El B es un elemento que debe considerarse como formativo de las estructuras vegetales, su deficiencia no permite la ordenación, diferenciación y desarrollo completo de varios tejidos, también se ve afectado el desarrollo de las células del cambium a floema o xilema. Se han atribuido al B muchas funciones en la fisiología de la planta como su intervención en la estructura fina de la célula, participación en el desarrollo celular, metabolismo del N, la fecundación, la síntesis de pared celular, la absorción activa de sales, en el metabolismo hormonal, de lípidos, del P y en la fotosíntesis (Blevins y Lukaszewski, 1994). Cheng (1994) encontró que el contenido de vitamina C en fresa aumentó linealmente conforme se incrementó la aplicación de B de 0 a 8 kg/ha y el contenido de azúcar para los niveles de hasta 4 kg/ha, en un suelo con bajos contenidos de B. La concentración de B encontrada en fruto para cv. Biloxi fue 3.28 mg kg⁻¹.

El Mn activa alrededor de 35 enzimas, las cuales están involucradas en los procesos de óxido-reducción, descarboxilación y rompimientos. El Mn también participa en reacciones primarias de evolución del oxígeno, favoreciendo la fotólisis del agua, en la fotosíntesis; una deficiencia de Mn disminuye la síntesis de proteínas, carbohidratos y lípidos (Hänsch y Mendel, 2009). Ochmian *et al.*, (2008) reportaron valores de Mn en arándano de 115.5 mg kg⁻¹. En el presente estudio se encontró una concentración de Mn en fruto cv. Biloxi de 86.99 mg kg⁻¹.

Aunque los requerimientos de fertilización de arándanos cultivados son relativamente menores que para otros cultivos de bayas, algunos estudios indican que la aplicación de fertilizantes equilibrados y precisos puede mejorar el estado nutricional, crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de fruto (Percival *et al.*, 2003).

Calidad postcosecha

Color

El color es un indicador para realizar una correcta selección de frutos de arándano y la cosecha debe realizarse cuando la epidermis tiene un color púrpura; el contenido de sólidos solubles, pH, fenoles y antocianinas en cierta forma modifican el color y el tamaño del fruto, de rosa a complemente azul (Kalt *et al.*, 1996; Cano y Darnell, 1998; Prior *et al.*, 1998; Connor *et al.*, 2002; Kalt *et al.*, 2003). El color obtenido para cv. Biloxi en el presente estudio fue luminosidad (L) = 22.68, a = 2.17 y b = 7.71 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros físicos de calidad en fruto de arándano cv. Biloxi.

L	Color		Peso (g)	Diámetro (mm)		Firmeza (Newton)
	a	b		Ecuatorial	Polar	
22.68	2.17	7.71	1.55	10.58	15.27	2.60

Peso de fruto

El peso promedio en frutos de arándano cv. Biloxi fue de 1.55 g (Cuadro 3), lo cual coincide con los rangos óptimos en cosecha para este cultivo (0.8 g - 3.4 g). Maust *et*

al. (2000) indicaron que el peso en frutos de arándano se encuentra directamente relacionado con las reservas de carbohidratos y fertilización realizada a los arbustos antes de la fructificación, el cual es utilizado por la planta de forma eficientemente durante el proceso fotosintético, siempre y cuando se desarrolle en las condiciones ambientales adecuadas de luz, temperatura, suelo y agua.

Tamaño y firmeza

En el Cuadro 3 se observa que el tamaño de frutos de arándano cv. Biloxi, medido como diámetro ecuatorial y polar fue igual a 10.58 y 15.27 mm, respectivamente y la firmeza de 2.60 Newton. Cabe señalar, que los frutos de arándano tienden a perder firmeza cuando llegan al estado completamente azul (Cordenunsi *et al.*, 2002) y la disminución de la textura del fruto sin perder el tamaño se debe al incremento en la respiración provocado por el exceso de temperatura y luz solar, las alteraciones en la pared celular aumentan el ablandamiento de los tejidos (Ahmed *et al.*, 1980).

Sólidos solubles totales (SST)

La selección de frutos de arándanos con calidad aceptable involucra un alto contenido de sólidos solubles en la pulpa, la cual se logra cuando los frutos han sido cultivados bajo condiciones normales de campo (Galleta *et al.*, 1971). El valor de SST al momento de la cosecha para frutos de arándano cv. Biloxi fue 14.01 % (Cuadro 4); lo que coincide con los niveles reportados por Ochmian *et al.* (2008), quienes mencionaron valores de SST en arándano cv. Sierra entre 13.7 y 15.3%. Es importante mencionar,

que los principales compuestos solubles en frutos maduros son: glucosa, fructuosa y sacarosa (Cordenunsi *et al.*, 2002) y que el contenido de SST está fuertemente asociado con el peso del fruto, ya que aumentan con el tamaño de éste y la concentración se incrementa en 1.5% cuando las plantas se podan en plena dormancia y mantenidas en condiciones agronómicas adecuadas (Morgan *et al.*, 1984). Para la fase de cosecha los niveles de SST en arándano se pueden encontrar entre rangos de 12 a 14 °Brix. Al respecto, Galleta e Himelrick (1989) mencionaron que los frutos maduros pueden alcanzar valores de 15 °Brix; mientras Kushman y Ballinger (1968) propusieron como criterio de cosecha, niveles superiores a 10 °Brix, ya que este se considera como el índice de calidad mínimo para arándanos (Kader, 1999), en tanto que Lobos (1988) indicó que frutos de arándano con 11 y 12 °Brix reúnen las cualidades organolépticas deseadas. La mayoría de los azúcares son procesados en las hojas y posteriormente transportados hacia el fruto; por ello, los frutos madurados fuera del arbusto sólo alcanzan un contenido final de 10% de azúcar.

Cuadro 4. Parámetros químicos de calidad en fruto de arándano cv. Biloxi.

SST (%)	pH	Acidez (%)	Vitamina C (mg 100 mL⁻¹)
14.01	3.44	1.50	20.19

pH

El pH encontrado para fruto de arándano cv. Biloxi fue 3.44 (Cuadro 4), el cual se encuentra dentro del intervalo óptimo (3.2 a 4.0), reportado para diferentes cv. de

arándano como Esmerald, Primadonna y Springhigh (Beaudry, 1992; Almenar *et al.*, 2008; Chiabrando *et al.*, 2009).

Acidez titulable

La acidez es un parámetro que se considera para evaluar la calidad organoléptica de los frutos; ya que una acidez alta puede inhibir el crecimiento de organismos que causan la pudrición; dentro de los ácidos que se encuentran en el fruto de arándano sobresalen el ácido cítrico y málico, además de otros 17 ácidos encontrados en frutos maduros y sobremaduros. En el presente estudio se encontró un valor de acidez titulable igual a 1.50% (Cuadro 4).

Vitamina C

El ácido ascórbico (vitamina C), es un ácido orgánico, antioxidante, hidrosoluble y sensible al calor; presenta una estructura de lactona (compuesto orgánico del tipo éster cíclico) y es particularmente sensible a las reacciones de oxidación, destruyéndose fácilmente durante la maduración o procesamiento de alimentos en presencia del oxígeno; debido a esta sensibilidad que presenta es importante tener un manejo adecuado durante la poscosecha para evitar caídas abruptas en sus niveles. La mayoría de las reacciones metabólicas del ácido ascórbico se deben al fuerte potencial reductor y a su actividad antioxidante derivada del desplazamiento del ácido L-ascórbico a su forma oxidada L- dehidroascórbico; habilitando la molécula para combatir radicales oxidativos y acuosos (Fennema, 2000).

El contenido de ácido ascórbico en 100 mL^{-1} de jugo para fruto de arándano cv. Biloxi fue 20.19 mg (Cuadro 4). Ochmian *et al.* (2008) reportaron valores de vitamina C entre 22.4 y $34.1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para arándano cv. Sierra; mientras que Łata *et al.* (2005) mencionaron que para arándanos cv. Darrow y Bluecrop se obtuvieron 25.2 y $30.6 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Cabe señalar que, el valor obtenido es más alto en relación con otras frutas como las fresas en la que el contenido de vitamina C disminuye entre 2.5 y 12% (0.05 a $0.15 \text{ mg ácido ascórbico g}^{-1}$ de tejido), lo que fue atribuido a la intervención directa en reacciones metabólicas y enzimáticas dentro de la fruta (Beltrán, 2010). En esto radica la importancia que tiene el arándano como alimento con propiedades nutraceuticas; ya que el ácido ascórbico se distribuye en células de plantas donde juega un papel importante en el crecimiento y metabolismo como antioxidante teniendo la capacidad de eliminar especies reactivas de oxígeno y actuando como cofactor manteniendo la actividad enzimática (Wang *et al.*, 2008). Es importante mencionar que, dentro de las funciones de la vitamina C en el organismo se pueden resaltar dos: en el sistema inmunológico y en el nervioso, reforzando y tonificando las paredes arteriales y participando en la síntesis de carnitina, compuesto vital para la oxidación de los lípidos, de ahí la importancia para combatir la obesidad, así como en la síntesis de colágeno; además de presentar un mejor aprovechamiento de otras vitaminas y minerales como el ácido fólico y el hierro (Lima, 2010).

Cabe señalar, que los valores obtenidos en el presente estudio para parámetros de calidad en frutos de arándano cv. Biloxi son muy semejantes a los reportados por

Spiers *et al.* (2002) en la misma variedad, pero cultivado en Estados Unidos, con un peso promedio de 1.47 g, contenido de sólidos solubles de 13.4%, pH igual a 3.2 y 0.97% de acidez titulable, con una relación contenido de sólidos solubles/acidez titulable de 13.97 y antocianinas (ACY) con valores de 90.

CONCLUSIONES

La concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y B fue 16.7, 0.38, 0.45, 0.52, 0.27 mg g⁻¹ y 20.78, 2.46, 86.99, 3.28 mg kg⁻¹, respectivamente en frutos de arándano cv. Biloxi y presentando el siguiente gradiente de concentración nutrimental: N>Ca>K>P>Mg>Mn>Fe>B>Cu.

Los parámetros obtenidos de calidad postcosecha fueron: peso 1.55 g., diámetro ecuatorial 10.58 mm y polar 15.27 mm, firmeza 2.60 Newton, sólidos solubles totales 14.01%, pH 3.44, acidez titulable 1.50 % y contenido de vitamina C 20.19 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo. La calidad postcosecha está predeterminada genéticamente, ya que se encontraron valores similares para esos parámetros en arándanos producidos en otros países.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmed A, J Labavitch (1980) Cell Wall Metabolism in Ripening Fruit. *Plant Physiol.* 65: 1009 – 1013.

Almenar E, H Samsudin, R Auras, B Harte, M Rubino (2008) Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. *Food Chemistry* 110:120–127.

AOAC (Association of Oficial Agricultural Chemist) (1990) Official methods of analysis. Fruits and fruits products. 13th ed. Washington, DC, USA.

Barceló J, G Nicolás, B. Sabater, R Sánchez (2001) Fisiología vegetal. Pirámide. Madrid, España. 566 p.

Bassett C, M Wisniewski, T Artlip, J Norelli (2006) Global Analysis of Genes Regulated by low Temperature and Photoperiod in Peach Bark. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131 (4): 551 – 563.

Beaudry R (1992) Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. In: Annual Report of the Michigan State Horticultural Society (122nd). Michigan State Horticultural Society, Morrice, MI, USA, pp.140–145.

Beltrán A, M Ramos, M Alvares (2010) Estudio de vida útil de fresas (*Fragaria, vesca*) mediante tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C). Universidad Técnica de Ambato.

Blevins D G, K M Lukaszewski (1994) Proposed Physiologic Functions of Boron in Plants Pertinent to Animal and Human Metabolism *Environmental Health Perspectives* 102 (7): 31-33.

Britto D T, H J Kronzucker (2008) Cellular mechanisms of potassium transport in plants. *Physiologia Plantarum*. P 1-14.

Cano R, R Darnell (1998) Effect of GA3 and Pollination on Fruit Set and Development in Rabbiteye Blueberry. *HortScience* 33 (4): 632 – 635.

Connor A, J Luby, C Finn, J Hancock (2002) Genotypic and environmental variation in antioxidant activity among blueberry cultivars. *Acta horticulturae (ISHS)* 574: 209-213.

Cordenunsi B, J Oliveira, M Genovese, F Lajolo (2002) Influence of Cultivar on Quality Parameters and Chemical Composition of Strawberry Fruit Grown in Brazil. *J. Agric. Food Chem.* 50 (9): 2581 – 2586.

Cheng B T (1994) Ameliorating *Fragaria* ssp. and *Rubus idaeus* L. productivity through boron and molybden addition. *Agrochimica*, 38 (3):177-185.

Chiabrando V, G Giacalone, L Rolle (2009) Mechanical behavior and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *J Sci. Food Agric.* 89:989-992.

Darnell R L, G W Stutte, G C Martin, G A Lang, J D Early (1992) Developmental physiology of rabbiteye blueberry. *Hort. Review* 13: 339-405.

Fennema O (2000) *Química de los alimentos*. Editorial Acirbia. España.

Friedman H, E E Goldschmidt, A H Halevy (1989) Involvement of Calcium in the Photoperiodic Flower Induction Process of *Pharbitis nil*. *Plant Physiol.* 89: 530-534.

Galleta G, W Ballinger, R Monroe, L Kushman (1971) Relationships between fruit acidity and soluble solids levels of highbush blueberry clones and fruit keeping quality. *J.Amer.Soc. Hort. Sci.* 96 (6): 758-762.

Galleta G, D Himelrick (1989) Small fruit crop management. Prentice-Hall Press. New Jersey. United States of America. 602 pp.

Hanson E J (2006) Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 715:347-351.

Hänsch R, R R Mendel (2009) Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. 12 (3): 259-266.

Havlin J, J Beaton, S Tisdale, W Nelson (1999) Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to nutrient management. 6th ed. New Jersey. Prentice Hall. 499 p.

Haynes R J, K M Goh (1987) Effects of nitrogen and potassium applications on strawberry growth, yield and quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18 (4): 457-471.

Hirzel J (2011) Acumulación de nutrientes en frutos de arándano. (On line). Estudio prospectivo en huerto comercial. Redagícola. Sección Nutrición. <http://www.redagricola.com/noticia/acumulacion-de-nutrientes-en-frutos-dearandano>. Consultado el 27 de febrero de 2014.

Janick J, J Moore (1996) Blueberries, cranberries and lingonberries. In: *Fruit breeding*. John Wiley and sons Inc. N.Y., U.S.A. pp 1-108.

Kader A A (1999) Fruit maturity, ripening and quality relationship. *Acta Horticulturae*. 485:203-208.

Kalt W, J McDonald (1996) Chemical Composition of Lowbush Blueberry Cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 12 (1): 142 – 146.

Kalt W, C Lawand, D Ryan, J McDonald, H Donner, C Forney (2003) Oxygen Radical Absorbing Capacity, Anthocyanin and Phenolic Content of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L) during Ripening and Storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128 (6): 917 – 923.

Kirkby E, V Römheld (2007) Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad; (Segunda Parte). (On line). International Plant Nutrition Institute. <[http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/FEB8DB4F5AFB8FF50525748300700842/\\$file/Micronutrientes+en+la+Fisiolog%C3%ADa+de+las+Plantas+II+Parte.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/FEB8DB4F5AFB8FF50525748300700842/$file/Micronutrientes+en+la+Fisiolog%C3%ADa+de+las+Plantas+II+Parte.pdf)>.

Consultado el 18 de marzo de 2014.

Kushman L, W Ballinger (1968) Acid and sugar changes during re-ripening in Wolcott Blueberries. Proceeding of the American Society for Horticultural Science. 2: 290-295.

Laceretosa G, V Lateana, N Montemurro, D Palazzo, S Vanadia, D Anac, P P Martin (1999) Soil fertility and plant nutritional status of strawberry in the Basilicata region, southern Italy. Kluwer Academic Publishers; Dordrecht; Netherlands. Improved crop quality by nutrient management:159-162.

Lafond J (2013) Boundary-Line Approach to Determine Minimum and Maximum Leaf Micronutrient Concentrations in Wild Lowbush Blueberry in Quebec, Canada. International Journal of Fruit Science, 13 (3): 345-355.

Lata B, A Trampczyńska, A Mike (2005) Effect of cultivar and harvest date on thiols, ascorbate and phenolic compounds content in blueberries. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus, 4(1), 163-171.

Lima L (2010) Estrés oxidativo y antioxidantes: actualidad sobre antioxidantes en alimentos. Consultado el 5 de marzo del 2014. Centro de Medicina http://sld.cu/galerias/pdf/sitios/mednat/estres_oxidativo_y_antioxidante.

Lobos W (1988) El Arándano en Chile. En: Seminario El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 191-202 pp.

Maust B, J Williamson, R Darnell (2000) Carbohydrate Reserve Concentrations and Flower Bud Density Effects on Vegetative and Reproductive Development in Southern Highbush Blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125 (4): 413 – 419.

Medel F (1982) Arbustos Frutales. Corporación de Fomento de Producción. Universidad Austral de Chile. 30 p.

Miner G S, E B Poling, D E Carroll, L A Nelson, C R Campbell (1997) Influence of fall nitrogen and spring nitrogen-potassium applications on yield and fruit quality of 'Chandler' strawberry. J.Amer. Soc. Hort. Sci., 122 (2): 290-295.

Mitcham E, C Crisosto, A Kader (2003) Bushberry: blueberry, cranberry, raspberry. In Recommendations for maintaining postharvest quality. Department of Pomology, University of California. Davis. Disponible en: <http://rics.ucdavis.edu/postharvest2/produce/producefacts/fruit/berry.html>.

Consultado: 14 abril 2014.

Moggia C (1991) Aspectos de cosecha y postcosecha de arándanos In: Arándano, Seminario internacional de producción comercial y perspectivas económicas. 3-4 de octubre. Talca, Chile.

Morgan D, C Stanley, R Volz, I Warrington (1984) Summer Pruning of 'Gala' Apple: The Relationships between Pruning Time, Radiation Penetration, and Fruit Quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109 (5): 637 – 642.

Naphun W, K Kawada, T Matsui, Y Yoshida, M Kusonoki (2000) Effects of calcium sprays on the quality of 'Nyoho' strawberries grown by peat-bag- substrate bench culture. Kasetsart-Journal, Natural Sciences, 32 (5):9-14.

Nestby R (1998) Effect of N-fertigation on fruit yield, leaf N and sugar content in fruits of two strawberry cultivars. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 73:563-568.

Ochmian I, J Grajkowski, K Skupień (2008) Effect of three substrates on fruit and leaf chemical composition of highbush blueberry 'sierra' cultivar. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU). Horticulture. 11(4). Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue4/art-12.html>

Orit S (2002) Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. Biometals. 15 (3): 307-321.

Pelayo C, S E Eleber, A A Kaderg (2001) Postharvest life and flavour quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air +20 IPa. Postharvest Biology and Technology 27 (2): 171-183.

Percival C D, D E Janes, D E Stevens, K Sanderson (2003) Impact of multiple fertilizer applications on plant growth, development, and yield of wild lowbush blueberry (*Vaccinium augustifolium* Ait.). Acta Horticulturae, 626, pp. 415-421.

Prior R, G Cao, A Martin, E Sofic, J McEwen, C O'Brien, N Lischner, M Ehlenfeldt,

W Kalt, G Krewer, C Mainland (1998) Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species. J. Agric. Food. Chem. 46 (7): 2686 – 2693.

Salunkhe D K, H R Bolin, N R Reddy (1991) Storage, processing, and nutritional quality of fruit and vegetables. Vol. I: Fresh fruits and vegetables (2nd ed.) CRC Press, Florida, USA. 323 p.

Sapers G, A Burcher, J Phillips, S Jones (1984) Color and composition of highbush blueberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109 (1): 105-111.

Sellappan S, C Akoh, G Krewer (2002) Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. J. Agric. Food Chem. 50: 519-525.

Spiers J M, S J Stringer, A D Draper, C L Gupton (2002) 'Biloxi' southern highbush blueberry. Acta Horticulturae. 574:153-155.

Skupien K (2004) Zawartosc wybranych składników mineralnych w owocach czterech odmian borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.) [The content of selected minerals in four cultivars highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit]. J. Elementol. 9(1), 43-49 [in Polish].

Vidal I (2005) Fertirriego en berries. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía.<http://documentsearch.org/read?=http://riegofrutilla.110mb.com/Fertirriego%20berries.pdf>. Consultado el 23 de mayo de 2014.

Wang C Y, S Y Wang, C. Chitsun (2008) Increasing antioxidant activity and reducing decay of blueberries by essential oils. Food chemistry. 56:3587–3592.

Wills R, T Lee, W Mcglasson, E Hall, D Grahan (1985) Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 195 p.

Yommi A, C Godoy (2002) INTA Balcarce (Argentina). Arándanos, fisiología y tecnologías de postcosecha. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/fruyhort/arandano.html>: consultado el 31 de abril de 2014.

Zheng Y., C Wang, S Wang, W Zheng (2003) Effect of High – Oxygen Atmospheres on Blueberry Phenolics, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity. J. Agric. Food. Chem. 51 (24): 7162 – 7169.

VI. DISCUSION GENERAL

Los resultados mostraron que el comportamiento de N durante el ciclo del cultivo fue irregular. Bouchard y Gagnon (1987) reportaron niveles mínimos y máximos de 13.7 y 23.3 mg g⁻¹, respectivamente, el valor promedio de N obtenido en el estudio para cv. Biloxi fue 15.01 mg g⁻¹; mientras Rivadeneira (2012) encontró que la concentración promedio de nitrógeno en hojas de arándano azul fue de 15.5, 21.3 y 17.6 mg g⁻¹ para cv. Misty, Jewel y Emerald, respectivamente. La concentración promedio de P para el cv. Biloxi fue 1.9 mg g⁻¹, en comparación con Misty, Jewel y Emerald que presentaron 1.2, 1.4 y 1.2 mg g⁻¹, respectivamente (Rivanedeira, 2012). Lafond (2009) encontró una concentración promedio de 1.33 mg g⁻¹ de P para *Vaccinium angustifolium* Ait. y Bouchard y Gagnon (1987), reportaron 1.1 mg g⁻¹ para la misma especie. Las concentraciones de K para el arándano cv. Biloxi, en promedio fue 5.9 mg g⁻¹, en comparación con Misty, Jewel y Emerald que reportaron 5.2, 3.7 y 4.8 mg g⁻¹ de K, respectivamente (Rivanedeira, 2012) y para esta especie de tipo arbusto bajo se reportó 6.06 mg g⁻¹ (Lafond, 2009) y 3.16 mg g⁻¹ de K (Bouchard y Gagnon, 1987). El valor para Ca en arándano se incrementó desde la etapa vegetativa hasta la fructificación; los niveles más bajos en hoja se observaron en las etapas vegetativas y floración, ya que el Ca se aprovechó para la inducción floral (Friedman *et al.*, 1989), mientras que el Mg se incrementó desde la etapa vegetativa hasta la fase de amarre de fruto. Lafond (2009) y Bouchard y Gagnon (1987) indicaron niveles de Mg de 1.52 y 1.55 mg g⁻¹, para arándano azul de tipo arbusto bajo, respectivamente. Los niveles de S en hoja disminuyeron en la etapa de fructificación seguramente porque este elemento

participó en la formación de compuestos antioxidantes como el glutatión (Hell, 1997). La concentración de micronutrientes como: Fe, Cu, Mn y Zn en hojas de arándano cv. Biloxi disminuyó desde la etapa vegetativa hasta fructificación; los valores promedio fueron: 398.0, 32.3, 161.1, 45.9 y 112.6 mg kg⁻¹ de Fe, Cu, Mn, Zn y B, respectivamente. Para el sodio, el valor promedio fue de 1.82 mg g⁻¹. Los micronutrientes están involucrados en todas las funciones metabólicas y celulares (Hänsch y Mendel, 2009). Por ejemplo, el Fe se utiliza en el sitio activo de glutamil-ARNt reductasa, una enzima necesaria para la formación de ácido 5-aminolevulínico que es un precursor de la clorofila (Kumar y Soll, 2000; Eskandari, 2011). El Cu participa en numerosos procesos fisiológicos y es un cofactor esencial para muchas metaloproteínas (Yruela, 2005). El Mn se necesita en la formación de cloroplastos, fotosíntesis, metabolismo del N y la síntesis de varias enzimas (Campbell y Nable, 1998). El B participa, al igual que el K, en el transporte de carbohidratos de hojas hacia los frutos, síntesis de la pared celular y lignificación, la estructura de la pared celular, el metabolismo del RNA, la respiración, metabolismo del ácido indolacético, el metabolismo del fenol y transporte de membrana (Blevins y Lukaszewski, 1994). Subbarao *et al.* (2003) mencionan que el Na puede considerarse como un elemento funcional, es decir, que no cumple con los criterios de esencialidad, pero es importante en el metabolismo de las plantas, principalmente en plantas C₄.

Los resultados de la concentración de K en el extracto celular de peciolo (ECP) no mostraron diferencias estadísticas significativas entre etapas fenológicas. Pineda *et al.* (2008) estudiaron la dinámica de extracción de K en frambuesa roja indicando que la acumulación de este nutrimento fue constante sin variaciones importantes a lo largo de las diferentes etapas fenológicas y en la etapa vegetativa se extrajeron cantidades ligeramente mayores (27.9%) con relación a las demás etapas y, en éste mismo periodo indicaron tasas máximas de extracción diaria $180 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; mientras Molina *et al.* (1993) reportaron concentraciones entre 1.33 y 2.52 mg g^{-1} de K en diferentes variedades de fresa. El comportamiento de K en las etapas de crecimiento en hojas de arándano mostraron diferencias estadísticas significativas entre las diferentes fechas de muestreo. Rivadeneira (2012) reportó concentraciones de K en hojas de arándano 0.52 , 0.37 , $0.48 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$ en tres cv. Misty, Jewel y Emerald, respectivamente e indicó que la composición mineral de K no mostró diferencias entre cv. Los resultados concuerdan con otros autores que aseguran que los árboles frutales presentan una menor concentración de K en las hojas durante el periodo de crecimiento en comparación con el fruto (Velasco *et al.*, 2012); lo que refleja que el mecanismo de transporte de K a cada parte de la planta durante las diferentes fases de crecimiento dependen del cultivo (Medina *et al.*, 2013). El análisis de regresión lineal directa entre ECP y hoja presentó una r^2 de 0.7884 . Los valores para la concentración de K en solución del suelo (SS) para el cultivo de arándano no mostraron diferencias significativas en las etapas de crecimiento. Las concentraciones de K en SS, en todas las etapas, fueron bajas ($< 27 \text{ mg L}^{-1}$).

La concentración de macronutrientes en fruto de arándano cv. Biloxi fue la siguiente: 16.7, 0.38, 0.45, 0.52 y 0.27 mg g⁻¹, M.S. de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Ochmian *et al.* (2008) reportaron valores de 15 a 16 mg g⁻¹ de N en frutos de arándano variedad Sierra, desarrollado en diferentes sustratos, mientras que Skupień (2004) reportó valores semejantes entre 17 y 28 mg g⁻¹ de N en cuatro cultivares de arándano. Estos niveles son similares a los encontrados en el presente estudio para el cv. Biloxi. Según Miner *et al.* (1997), la firmeza del fruto disminuye y su tamaño incrementa con la fertilización nitrogenada. Haynes y Goh (1987) observaron que las aplicaciones de sulfato de amonio en fresa incrementaron las concentraciones de alfa-amino-ácido-N y de polifenoles y se redujo la cantidad de ácido ascórbico. Las aplicaciones de N tuvieron un efecto variable sobre la acidez titulable y el contenido de azúcar en los frutos de un año a otro. El color obtenido para la variedad Biloxi en el presente estudio fue luminosidad (L) = 22.68, a = 2.17 y b = 7.71; mientras que el peso promedio fue de 1.55 g., lo cual coincide con los rangos óptimos en cosecha para este cultivo (0.8 g - 3.4 g). Para el tamaño se midió el diámetro ecuatorial y polar que fue 10.58 y 15.27 mm, respectivamente y la firmeza de 2.60 Newton. Cabe señalar, que los frutos de arándano tienden a perder firmeza cuando llegan al estado completamente azul (Cordenunsi *et al.*, 2002) y la disminución de la textura del fruto sin perder el tamaño se debe al incremento en la respiración provocada por el exceso de temperatura y luz solar, las alteraciones en la pared celular aumentan el ablandamiento de los tejidos (Ahmed *et al.*, 1980). El valor de SST al momento de la cosecha para frutos de arándano cv. Biloxi fue 14.01 %; lo que coincide con los niveles reportados por Ochmian *et al.* (2008), quienes

mencionaron valores de sólidos solubles en arándano cv. Sierra entre 13.7 y 15.3%. Es importante mencionar, que los principales compuestos solubles en frutos maduros son: glucosa, fructuosa y sacarosa (Cordenunsi *et al.*, 2002) y que el contenido de sólidos solubles está fuertemente asociado con el peso del fruto, ya que aumentan con el tamaño de éste. Para la fase de cosecha los niveles de SST en arándano se pueden encontrar entre rangos de 12 a 14 °Brix. Al respecto, Galleta e Himelrick (1989) mencionaron que los frutos maduros pueden alcanzar valores de 15 °Brix; mientras Kushman y Ballinger (1968) propusieron como criterio de cosecha, niveles superiores a 10 °Brix, ya que este se considera como el índice de calidad mínimo para arándanos (Kader, 1999), en tanto que Lobos (1988) indicó que frutos de arándano con 11 y 12 °Brix reúnen las cualidades organolépticas deseadas. El pH encontrado para fruto de arándano cv. Biloxi fue 3.44, el cual se encuentra dentro del intervalo óptimo (3.2 a 4.0), reportado para diferentes variedades de arándano como Esmerald, Primadonna y Springhigh (Chiabrando *et al.*, 2009; Almenar *et al.*, 2008; Beaudry, 1992). En el presente estudio se encontró un valor de acidez titulable igual a 1.50%. Finalmente, el ácido ascórbico (vitamina C), es un ácido orgánico, antioxidante, hidrosoluble y sensible al calor; presenta una estructura de lactona (compuesto orgánico del tipo éster cíclico) y es particularmente sensible a las reacciones de oxidación, destruyéndose fácilmente durante la maduración o procesamiento de alimentos en presencia del oxígeno; debido a esta sensibilidad que presenta es importante tener un manejo adecuado durante la poscosecha para evitar caídas abruptas en sus niveles (Fennema, 2000). El contenido de ácido ascórbico en 100 mL⁻¹ de jugo para fruto de arándano cv. Biloxi fue 20.19 mg.

Ochmian *et al.* (2008) reportaron valores de vitamina C entre 22.4 y 34.1 mg 100 g⁻¹ para arándano cv. Sierra; mientras que Łata *et al.* (2005) mencionaron que para arándanos cv. Darrow y Bluecrop se obtuvieron 25.2 y 30.6 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Cabe señalar, que los valores obtenidos en el presente estudio para parámetros de calidad en frutos de arándano cv. Biloxi son muy semejantes a los reportados por Spiers *et al.* (2002) en la misma variedad, pero cultivado en Estados Unidos, con un peso promedio de 1.47 g, contenido de sólidos solubles de 13.4%, pH igual a 3.2 y 0.97% de acidez titulable.

VII. CONCLUSIONES GENERALES

1. Los rangos nutrimentales promedio encontrados en hoja para el cv. Biloxi, bajo condiciones de Los Reyes, Michoacán, México son semejantes a los reportados para otros cultivares y tipos de arándano en otros países. La concentración promedio de macronutrientes fue la siguiente: 15.01, 1.9, 5.9, 4.64, 2.67, 2.05 mg g⁻¹, de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente) y micronutrientes (398.0, 32.3, 161.1, 45.9, 112.6 mg kg⁻¹ y 1.82 mg g⁻¹ de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Na, respectivamente).

2. La concentración de potasio en el extracto celular del pecíolo correlacionó significativamente con el potasio acumulado en las hojas de plantas de arándano cv. Biloxi. La mayor concentración de potasio en hoja y extracto celular del pecíolo se encontró en la etapa de amarre de fruto y fructificación. Se observó una relación inversamente proporcional entre la concentración de potasio en la solución del suelo y el potasio en el extracto celular de pecíolo en arandano

3. La concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y B en frutos de arándano cv. Biloxi fue 16.7, 0.38, 0.45, 0.52, 0.27 mg g⁻¹ y 20.78, 2.46, 86.99, 3.28 mg kg⁻¹, respectivamente. Los parámetros de calidad postcosecha fueron: peso 1.55 g., diámetro ecuatorial 10.58 mm y polar 15.27 mm, firmeza 2.60 Newton, sólidos solubles totales 14.01%, pH 3.44, acidez titulable 1.50 % y contenido de vitamina C 20.19 mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de jugo. La calidad postcosecha está predeterminada genéticamente, ya que se encontraron valores similares para esos parámetros en arándanos producidos en otros países.

VIII. LITERATURA CITADA GENERAL

Ahmed A, J Labavitch (1980) Cell Wall Metabolism in Ripening Fruit. *Plant Physiol.* 65: 1009 – 1013.

Almenar E, H Samsudin, R Auras, B Harte, M Rubino (2008) Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. *Food Chemistry* 110:120–127.

Beaudry R (1992) Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. In: Annual Report of the Michigan State Horticultural Society (122nd). Michigan State Horticultural Society, Morrice, MI, USA, pp.140–145.

Blevins D G, K Lukaszewski (1994) Proposed Physiologic Functions of Boron in Plants Pertinent to Animal and Human Metabolism *Environmental Health Perspectives* 102 (7): 31-33.

Bouchard A R, M J Gagnon (1987) Nutrient status of the lowbush blueberry. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 18(6): 675-686.

Campbell L C, R O Nable (1998) Physiological Functions of Manganese in Plants. *Developments in Plant and Soil Sciences.* 33:139-154.

Cordenunsi B, J Oliveira, M Genovese, F Lajolo (2002) Influence of Cultivar on Quality Parameters and Chemical Composition of Strawberry Fruit Grown in Brazil. *J. Agric. Food Chem.* 50 (9): 2581 – 2586.

Chiabrando V, G Giacalone, L Rolle (2009) Mechanical behavior and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *J Sci. Food Agric.* 89:989-992.

Darnell R L, G W Stutte, G C Martin, G A Lang, J D Early (1992) Developmental physiology of rabbiteye blueberry. *Hort. Review* 13: 339-405.

Darunsontaya T, A Suddhiprakarn, I Kheoruenromne, N Prakongkep, R Gilkes (2012) The forms and availability to plants of soil potassium as related to mineralogy for upland Oxisols and Ultisols from Thailand. *Geoderma* 170:11-24.

Ehlenfeldt M K, R L Prior (2001) Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 2222-2227.

Eskandari H (2011) The Importance of Iron (Fe) in Plant Products and Mechanism of Its Uptake by Plants. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* 1(10):448-452.

Fennema O (2000) *Química de los alimentos*. Editorial Acribia. España.

Friedman H, E E Goldschmidt, A H Halevy (1989) Involvement of Calcium in the Photoperiodic Flower Induction Process of *Pharbitis nil*. *Plant Physiol.* 89: 530-534.

Galleta G, D Himelrick (1989) *Small fruit crop management*. Prentice-Hall Press. New Jersey. United States of America. 602 pp.

Gwathmey C O, C L Main, X Yin (2009) Potassium uptake and partitioning relative to dry matter accumulation in cotton cultivars differing in maturity. *Agronomy Journal* 101:1479-1488.

Hänsch R, R R Mendel (2009) Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology.* 12 (3): 259-266.

Hanson E, J Hancock (1996) *Managing the nutrition of highbush blueberries*. Michigan State University, Extension Bulletin E-2011, 46 p.

Hanson E J (2006) Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 715:347-351.

Haynes R J, K M Goh (1987) Effects of nitrogen and potassium applications on strawberry growth, yield and quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18 (4): 457-471.

Hell R (1997) Molecular physiology of plant sulfur metabolism. *Planta*. 202 (2): 138-148.

Hirzel J, N Rodríguez (2003) Acidificación de suelos para plantación de arándanos. Informativo Agropecuario-INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.

Kader A A (1999) Fruit maturity, ripening and quality relationship. *Acta Horticulturae*. 485:203-208.

Kumar A M, D Soil (2000) Antisense HEMA1 RNA expression inhibits heme and chlorophyll biosynthesis in arabidopsis. *Plant Physiologists*, 122: 49-56.

Kushman L, W Ballinger (1968) Acid and sugar changes during reaping in Wolcott Blueberries. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*. 2: 290-295.

Lafond J (2013) Boundary-Line Approach to Determine Minimum and Maximum Leaf Micronutrient Concentrations in Wild Lowbush Blueberry in Quebec, Canada. *International Journal of Fruit Science*, 13 (3): 345-355.

Lata B, A Trampczyńska, A Mike (2005) Effect of cultivar and harvest date on thiols, ascorbate and phenolic compounds content in blueberries. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*. 4(1):163-171.

Lobos W (1988) El Arándano en Chile. En: Seminario El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 191-202 pp.

Ma L, Y Shi (2011) Effects of potassium fertilizer on physiological and biochemical index of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Energy Procedia* 581–586.

Medina H N, M T L Branco, A M Guazzelli da Silveira, R R B Santos (2013) Dynamic distribution of potassium in sugarcane. *Journal of Environmental Radioactivity* 126:172-175.

Miner G S, E B Poling, D E Carroll, L A Nelson, C R Campbell (1997) Influence of fall nitrogen and spring nitrogen-potassium applications on yield and fruit quality of 'Chandler' strawberry. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.*, 122 (2): 290-295.

Moggia C (1991) Aspectos de cosecha y postcosecha de arándanos In: *Arándano, Seminario internacional de producción comercial y perspectivas económicas*. 3-4 de octubre. Talca, Chile.

Molina E, R Salas, A Castro (1993) Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria ananassa* Duch cv. Chandler) en Alajuela. *Agronomía Costaricense* 17: 67 – 73.

Moreno V, M H Prieto, M J Moñino, J Labrador, M I García (2003) Evaluación de métodos rápidos de análisis de nitrógeno y potasio en savia para seguimiento del estado nutricional de un cultivo de pimentón. En: *Actas de Horticultura N° 39*. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas Pontevedra, España. pp: 600- 602.

Ochmian I , J Grajkowski, K Skupień (2008) Effect of three substrates on fruit and leaf chemical composition of highbush blueberry 'sierra' cultivar. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU)*. Horticulture. 11(4). Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue4/art-12.html>

Percival C D, D E Janes, D E Stevens, K Sanderson (2003) Impact of multiple fertilizer applications on plant growth, development, and yield of wild lowbush blueberry (*Vaccinium augustifolium* Ait.). Acta Horticulturae, 626, pp. 415-421.

Pettigrew W T (2008) Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiology Plant 133:670-681.

Pineda P J, E Avitia, A M Castillo, T Corona, L A Valdez, J Gómez (2008) Extracción de macronutrientes en frambueso rojo (*Rubus idaeus* L.). Terra Latinoamericana 26: 333 – 340.

Pormale J, A Osvalde, V Nollendorfs (2013) Nutrient status in producing plantings and woodlands, Latvia. 80-87.

Prior R, G Cao, A Martin, E Sofic, J McEwen, C O'Brien, N Lischner, M Ehlenfeldt, W Kalt, G Krewer, C Mainland (1998) Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species. J. Agric. Food. Chem. 46 (7): 2686 – 2693.

Rivadeneira M F (2012) Concentración de nutrientes en hojas de diferente estado de desarrollo en arándano. Revista de Investigaciones Agropecuarias. Vol.38 núm 3 Diciembre. Buenos Aires, Argentina. pp 247-250. ISSN 0325-8718.

Salunkhe D K, H R Bolin, N R Reddy (1991) Storage, processing, and nutritional quality of fruit and vegetables. Vol. I: Fresh fruits and vegetables (2nd ed.) CRC Press, Florida, USA. 323 p.

Sellappan S, C Akoh, G Krewer (2002) Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. J. Agric. Food Chem. 50: 519-525.

Sepat R N, R K Rai, Dhar, Shiva (2010) Planting systems and integrated nutrient management for enhanced wheat (*Triticum aestivum*) productivity. *Indian Journal Agronomy* 55:114-118.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2012) Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.org.mx>

Skupien K (2004) Zawartosc wybranych składników mineralnych w owocach czterech odmian borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.) [The content of selected minerals in four cultivars highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit]. *J. Elementol.* 9(1): 43-49.

Smolarz K, S Mercik (1989) Growth and yield of highbush blueberry Bluecrop cv. (*Vaccinium Corymbosum* L.) in relation to the level of nitrogen fertilizer. *Acta Horticulturae.* 241:171-174.

Spiers J M, S J Stringer, A D Draper, C L Gupton (2002) 'Biloxi' Southern Highbush Blueberry. *Acta Hort.* 574: (153-155).

Subbarao G V, O Ito, W L Berry, R M Wheeler (2003) Sodium - A Functional Plant Nutrient. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22(5):391–416.

Velasco H, A S Cid, R M Anjos, C Zamboni, M Rozzotto, D L Valladares, J J

Wills R, T Lee, W Mcglasson, E Hall, D Grahan (1985) Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 195 p.

Yruela I (2005) Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology.* 17 (1): 145-156.

Zheng Y., C Wang, S Wang, W Zheng (2003) Effect of High – Oxygen Atmospheres

on Blueberry Phenolics, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity. *J. Agric. Food. Chem.*
51 (24): 7162 – 7169.